

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE SANTARÉM
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRONÓMICA

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE OZONO EM CULTURA DE TOMATE EM HIDROPONIA

Nuno Miguel Ferreira dos Santos

SANTARÉM

2022

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE SANTARÉM
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRONÓMICA

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE OZONO EM CULTURA DE TOMATE EM HIDROPONIA

Trabalho realizado com vista à
obtenção do grau de Mestrado em
ENGENHARIA AGRONÓMICA

Nuno Miguel Ferreira dos Santos

Nº 190300213

Orientadora: Professora Doutora Ana Paulo

Co-orientadora: Prof. Engenheira Maria do Céu Godinho

SANTARÉM

2022

AGRADECIMENTOS

Presto o meu enorme agradecimento a todos os que me ajudaram na realização deste trabalho.

Começo por agradecer à orientadora Professora Doutora Ana Paulo e co-orientadora Professora Engenheira Maria do Céu Godinho, pela orientação, sugestões e apoio prestado ao longo de todo o ensaio, desde a construção da ideia inicial do ensaio até à sua conclusão.

À empresa e toda a equipa da Kagome Agri-Business Research And Development Center, Unipessoal Lda., agradeço a disponibilidade, apoio e cedência de espaço, materiais e recursos humanos. Este suporte foi imprescindível para a realização deste trabalho.

À empresa *Funcional*© deixo o meu agradecimento pela cedência do equipamento e apoio técnico prestado ao longo de todo o ensaio.

A todos os meus familiares e amigos deixo a minha gratidão por todo o apoio dado ao longo deste meu percurso.

ABREVIATURAS

+Fg – Com fungicida

a* - Coordenadas cromáticas de vermelho/verde

b* - Coordenadas cromáticas amarelo/ verde

Ca(NO₃)₂ – Nitrato de Cálcio

CO₂ – Dióxido de Carbono

DAP – Dias Após Plantação

-Fg – Sem fungicida

Ft100% - Fertilização a 100%

Ft50% - Fertilização a 50%

g/h – Gramas por hora

IFAP – Instituto de Financiamento de Agricultura e Pescas

IO₃ – Irrigação com O₃

K – Potássio

Kgf – Quilogramas-força

KNO₃ – Nitrato de Potássio

L – Litros

L* - Luminosidade

mg/L – Miligramas por litro

N – Azoto

nm – Nanómetro

O₃ - Ozono

°Brix – Grau Brix

P – Fósforo

pH – Potencial de Hidrogénio

SP.O₃ – *Spray* com O₃

t/ano – Teladas por ano

TSS – Teor Sólidos Solúveis

WPTC – World Processing Tomato Council

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo verificar os efeitos benéficos da aplicação de ozono por irrigação e pulverização na cultura do tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em hidroponia, com avaliação do crescimento e estado vegetativo das plantas, produtividade e qualidade dos frutos. Adicionalmente, foi ainda, avaliada a capacidade de desinfecção e limpeza da água do sistema de rega, através da aplicação de ozono.

Dada a crescente necessidade de se desenvolverem práticas e alternativas mais ecológicas e sustentáveis no setor agrícola, o ozono (O₃) surge como uma alternativa que visa melhorar o sistema radicular das plantas, expansão da sua área foliar, fitossanidade resultando numa melhor qualidade dos frutos e produtividade.

Foram testadas sete modalidades com diferentes variáveis: duas modalidades com aplicação de ozono na irrigação, uma com adubação a 100%, e outra a 50%, ambas com aplicação de fungicida (IO₃+Ft100%+Fg e IO₃+Ft50%+Fg); outra modalidade com aplicação de ozono na irrigação com adubação a 100% e pulverização com ozono (IO₃+Sp.O₃+Ft100%); uma outra apenas com aplicação de ozono por pulverização e fertilização a 100% (Sp.O₃+Ft100%); os controles não tiveram qualquer tipo aplicação de ozono, variaram entre si apenas na percentagem de fertilização, 50% e 100%, e na aplicação ou não de fungicida (Controle/Ft50%+Fg; Controle/Ft50%-Fg e Controle/Ft100%+Fg).

A avaliação dos parâmetros de desenvolvimento das plantas foi realizada aos 20, 50, 70, 100 e 120 dias após plantação. A avaliação dos parâmetros de qualidade dos frutos e do sistema radicular das plantas foi realizada no final do ensaio.

Os resultados mostraram que a aplicação de ozono tem efeitos benéficos no desenvolvimento das plantas, resultando num maior peso dos frutos por planta e numa maturação mais homogénea, com mais de 42% de frutos maduro.

Apesar de não se terem verificado melhorias significativas nos parâmetros de qualidade dos frutos, também não se verificaram perdas de qualidade dos frutos. Indicando, assim, que a aplicação de ozono nas plantas por irrigação e/ou pulverização não teve efeitos na qualidade. O presente ensaio permitiu, ainda, verificar o efeito benéfico do ozono na desinfecção e limpeza dos sistemas de rega, mostrando ser uma mais-valia no setor agrícola, melhorando a fitossanidade das culturas e limpeza dos sistemas de rega.

Palavras-chave: Hidroponia; Ozono; Produtividade; Qualidade; Tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

ABSTRACT

The objective of the present study was to verify the beneficial effects of the ozone application by irrigation and spraying on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crop in hydroponics, with evaluation of plant growth and vegetative state, yield and fruit quality. Additionally, the ability to disinfect and clean the irrigation system with the application of ozone was also evaluated.

Given the growing need to develop more ecological and sustainable practices and alternatives in the agricultural sector, ozone (O₃) appears to be an alternative that aims to improve the root system of plants, expansion of the leaf area and plant health, which will result in better fruit quality and yield.

Seven modalities with different variables were tested, two modalities with ozone application in irrigation, one with 100% fertilization, the other at 50%, with fungicide application (IO₃+Ft100%+Fg e IO₃+Ft50%+Fg); another modality with the application of ozone in irrigation with 100% fertilization and spraying with ozone (IO₃+Sp.O₃+Ft100%); another modality with only application of ozone by spraying and 100% fertilization (Sp.O₃+Ft100%); the controls did not have any type of ozone application, they varied among themselves only in the fertilization percentage, 50% and 100%, and in the application or not of fungicide(Control/Ft50%+Fg; Control/Ft50% -Fg e Control/Ft100%+Fg).

The evaluations of plant development parameters were performed at 20, 50, 70, 100 and 120 days after planting. The evaluations of fruit quality parameters and plant root system were performed at the end of the trial.

The results showed that the application of ozone has beneficial effects on plant development, resulting in greater fruit weight and more homogeneous maturation, with more than 42% of ripe fruit.

Although there were no significant improvements in fruit quality parameters, there were no losses in fruit quality either. This indicates that the application of ozone to plants by irrigation and/or spraying does not have negative effects on the quality of tomato fruits.

This test also allowed to verify the beneficial effect of ozone in the disinfection and cleaning of irrigation systems, proving to be an asset in the agricultural sector, improving the plant health of crops and irrigation systems.

Keywords: Tomato (*Solanum lycopersicum* L.); Ozone; Hydroponics; Productivity; Quality.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da estufa do ensaio.	17
Figura 2. Protótipo de produção de ozono.	17
Figura 3. Ozonização da água para pulverização.	18
Figura 4. Análise de concentração de ozono, "kit teste ozono".	18
Figura 5. Esquema do ensaio	20
Figura 6. Isolamento de modalidades sem aplicação de ozono pulverizado.	21
Figura 7. Distribuição de plantas por modalidade.....	21
Figura 8. Medição de comprimento (esquerda) e largura (direita) das folhas.	22
Figura 9. Leitura de SPAD.	23
Figura 10. Exemplo da separação de frutos verdes, laranja e maduros por modalidade.	24
Figura 11. Avaliação do sistema radicular por modalidade com base na perda de seiva.	25
Figura 12. Refratômetro digital (°Brix), Atago.	26
Figura 13. Potenciômetro digital (pH), HORIBA.	27
Figura 14. Colorímetro (a*, b*, L*), KONICA MINOLTA.	27
Figura 15. Medição de firmeza de frutos- Penetrômetro, IMADA.....	28
Figura 16. Água extraída do sistema de rega. a) sem O ₃ ; b) com O ₃	29
Figura 17. Médias de alturas das plantas (cm) por modalidade ao longo do ensaio, desde 29 aos 120 dias após plantação.	30
Figura 18. Médias de largura das folhas (cm) por modalidade ao longo do ensaio, desde o 29 aos 120 dias após plantação.	31
Figura 19. Médias dos comprimentos das folhas (cm) ao longo do ensaio, desde o 29 aos 120 dias após a plantação.	31
Figura 20. Médias de valores SPAD ao longo do ensaio, dos 29 aos 120 dias após plantação.	32
Figura 21. Médias de números de frutos, verdes, laranjas e maduros para cada modalidade.	33
Figura 22. Pesos médios por frutos (g/fruto) para as diferentes modalidades. Valores médios para frutos verdes, laranja e maduros.	34
Figura 23. Médias de pesos de frutos maduros por planta em cada modalidade e resultados da comparação de médias. Pares de modalidades com a mesma letra não são significativamente diferentes (alfa=0,05; teste ANOVA).....	35
Figura 24. Casos de incidência de podridão cinzenta e míldio.	36
Figura 25. Plantas das modalidades com aplicação de ozono foliar por pulverização.	36

Figura 26. Médias dos pesos das raízes das diferentes modalidades no final do ensaio. Pares de modalidades com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$; teste ANOVA).	37
Figura 27. Desenvolvimento radicular das modalidades sem aplicação de ozono que por irrigação quer por pulverização.	38
Figura 28. Desenvolvimento das raízes das diferentes modalidades. a) Ft100%+IO3+Fg; b) Ft100%+IO3+SpO3; c) Ft100%+SpO3; d) Ft50%k+IO3+Fg.	38
Figura 29. Médias dos Teores de Sólidos Solúveis ($^{\circ}$ Brix) de cada modalidade. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).	39
Figura 30. Médias de pH para cada modalidade. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).	40
Figura 31. Médias de cor, relação a/b. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).	41
Figura 32. Médias de firmeza dos frutos de cada modalidade. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).	41
Figura 33. Deposição de resíduos sólidos em papel de filtro depois da filtragem da água dos sistemas de rega, à esquerda sem ozono na irrigação, à direita com ozono na irrigação; E respetiva pesagem.	42

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Produção mundial de tomate de indústria (adaptado de (WTPC, 2020)).	4
Quadro 2. Ajudas ao setor do tomate- campanhas 1996/1997 a 2020 (adaptado de IFAP,2020).	6
Quadro 3. Descrição de cada modalidade e respetivo acrónimo.	19
Quadro 4. Produção total para cada modalidade e respetiva percentagem de frutos maduros.	33

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	ii
ABREVIATURAS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE QUADROS.....	viii
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. ATIVIDADE AGRÍCOLA	2
2.2. CULTURA DE TOMATE E PRODUÇÃO EM HIDROPONIA.....	3
2.3. OZONO - CONCEITO E UTILIZAÇÕES.....	7
2.4. OZONO NA AGRICULTURA	9
2.5. IRRIGAÇÃO COM OZONO E FUMIGAÇÃO.....	11
2.6. PULVERIZAÇÃO COM OZONO	12
2.7. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UTILIZAÇÃO DO OZONO	13
2.8. CASOS DE ESTUDO	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	17
3.2. MODALIDADES ESTUDADAS	19
3.3. PARÂMETROS DE ESTUDO	21
3.3.1. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS.....	22
3.3.1.1. ALTURA/ COMPRIMENTO E LARGURA DAS FOLHAS	22
3.3.1.2. ÍNDICE DE CLOROFILA	23
3.3.1.3. TAXA DE MATURAÇÃO	24
3.3.1.4. INCIDÊNCIA DE DOENÇAS	24
3.3.1.5. SISTEMA RADICULAR.....	24
3.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS.....	25

3.3.2.1.	QUALIDADE DOS FRUTOS.....	25
3.3.2.1.1.	TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS.....	26
3.3.2.1.2.	pH	27
3.3.2.1.3.	COR	27
3.3.2.1.4.	FIRMEZA DOS FRUTOS	28
3.3.3.	SISTEMA DE REGA	29
3.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1.	DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS	30
4.1.1.	ALTURA/ COMPRIMENTO E LARGURA DAS FOLHAS	30
4.1.2.	ÍNDICE DE CLOROFILA.....	32
4.1.3.	TAXA DE MATURAÇÃO.....	32
4.1.4.	INCIDÊNCIA DE DOENÇAS	35
4.1.5.	SISTEMA RADICULAR	37
4.2.	QUALIDADE DOS FRUTOS.....	39
4.2.1.	TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS.....	39
4.2.2.	pH	39
4.2.3.	COR	40
4.2.4.	FIRMEZA DOS FRUTOS	41
4.3.	SISTEMA DE REGA	42
5.	CONCLUSÃO	43
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A agricultura enquanto atividade integrante da economia mundial, em particular no setor primário, possui também um papel fundamental do ponto de vista sociocultural. Segundo Byerlee *et al.* (2009) o setor agrícola constitui uma fonte de crescimento industrial e parte integrante da transformação estrutural da economia, dado que é uma atividade crítica para impulsionar o crescimento económico, reduzir a pobreza, garantir a segurança e qualidade alimentar, bem como a sustentabilidade ambiental.

Ao longo dos anos a agricultura foi intensificando a utilização de pesticidas e fertilizantes com o objetivo de controlar as doenças e pragas das culturas e aumentar volumes de produção, de forma a responder às crescentes necessidades de produtos alimentares, que advêm do crescimento de população mundial (Davis *et al.*, 2016).

Estas práticas têm vindo a ser responsáveis pela contaminação dos solos e lençóis freáticos e destruição da biodiversidade do planeta (Davis *et al.*, 2016). Nesse sentido, o setor agrícola tem vindo a refletir acerca das suas práticas, introduzindo mais sustentabilidade e rentabilizando as produções com recurso a alternativas que minimizem os impactos ambientais (Davis *et al.*, 2016).

É, então, necessário desenvolver alternativas sustentáveis que permitam responder às necessidades do mercado, mantendo a segurança alimentar, dinamizando a competitividade do mercado em torno de um objetivo comum.

Graham *et al.* (2011) referem que a aplicação do ozono, como alternativa mais “amiga do ambiente”, poderá ser uma solução promissora na produção de tomate, a fim de aumentar a produtividade, melhorar a fitossanidade das plantas e melhorar a qualidade dos frutos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar em que medida o uso de ozono, através de sistema de rega e pulverização foliar, otimiza o uso de fertilizantes e pesticidas na produção de tomate em hidroponia, mantendo a qualidade e produtividade. Para tal, foram avaliados alguns parâmetros como o crescimento e estado vegetativo das plantas, produtividade e qualidade dos frutos. Adicionalmente foi avaliada a capacidade de purificação / limpeza da água do sistema de rega com a aplicação de ozono.

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. Numa primeira parte introduz-se a relevância deste estudo, apresentando os objetivos e estrutura da dissertação. No capítulo seguinte apresenta-se uma revisão bibliográfica do tema abordado e a análise de alguns estudos de casos. No terceiro capítulo são descritos os materiais e

metodologias usadas. No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos e por fim, no último capítulo, são apresentadas as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ATIVIDADE AGRÍCOLA

Dado o aumento da população mundial, emerge a necessidade de garantir o desenvolvimento de práticas que permitam garantir a disponibilidade de alimentos e a segurança alimentar das populações (Mahanty *et al.*, 2017). Adicionalmente, existe uma crescente preocupação em reduzir o desperdício alimentar, a proteção e garantia de qualidade dos alimentos, bem como dos canais de distribuição destes produtos, de forma a otimizar e desenvolver a atividade agrícola (Hatfield *et al.*, 2014).

Atualmente, o setor agrícola tem como principais propósitos garantir a disponibilidade de produtos por aumento de produção de alimentos, preservação e desenvolvimento do património cultural e da biodiversidade, aliado a uma constante adaptação às alterações climáticas, promovendo a sustentabilidade e a viabilidade económica da atividade (Mahanty *et al.*, 2017). Além disso, enfrenta diversos desafios, nomeadamente na aplicação de produtos químicos que possuem um vasto conjunto de restrições ambientais, que por vezes trazem limitações de eficiência na sua utilização, e também representam um custo elevado (Zulfiqar *et al.*, 2019). Assim, o setor necessita de criar estratégias, que incluem avanços tecnológicos, para que haja uma melhoria contínua dos processos.

Neste sentido, o ozono representa-se como uma prática alternativa possível de utilizar como oxidante e desinfetante que garante a eficiência de utilização, de forma a melhorar as características fisiológicas, biológicas e nutricionais no processo de desenvolvimento das plantas e produtividade e redução de microrganismos patogénicos (Yang *et al.*, 2018).

2.2. CULTURA DE TOMATE E PRODUÇÃO EM HIDROPONIA

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo. Esta planta teve origem na zona Oeste da América do Sul, sendo que a sua utilização para fins domésticos se iniciou na América Central.

O tomate pertence à família *Solanaceae* spp. e, atualmente, existem cerca de treze espécies reconhecidas de tomate selvagem, que apresentam uma grande variedade de fenótipos e que podem facilmente ser cruzadas com o tomate cultivado. Esta biodiversidade genética observada nos tomates selvagens é importante para o melhoramento, pois funcionam como fonte de características desejáveis que permitem o estudo da sua evolução (Kimura & Sinha, 2008).

Atualmente, o tomate representa a segunda cultura hortícola mais importante do mundo depois da batata, uma vez que os constituintes desta cultura hortícola são uma excelente fonte de compostos que promovem hábitos alimentares saudáveis devido à mistura equilibrada de minerais e antioxidantes, incluindo vitaminas C e E, licopeno, β -caroteno, luteína e flavonóides, como a quercetina (Dorais *et al.*, 2008).

O processamento industrial de tomate satisfaz a existência de uma grande variedade de produtos que utilizam o tomate como uma das suas bases. Deste modo, a produção de tomate origina produtos concentrados de tomate, na forma de polpa ou pasta (dependendo da percentagem de sólidos solúveis naturais presentes na mistura), molho de pizza, de cascas e sementes, tomate em pó (tomate concentrado desidratado), tomate pelado, inteiro ou em cubos, ketchup ou molho de tomate temperado com vinagre, açúcar, sal e algumas especiarias (Ruiz Celma *et al.*, 2009).

O cultivo de tomate está amplamente difundido em todo o mundo, sendo que cerca de 90% da produção mundial está concentrada no hemisfério norte (Mediterrâneo, Califórnia e China). Segundo dados do World Processing Tomato Council (WPTC), em 2020, a produção global de tomate para indústria rondou um volume de 37 383 000 t/ano, sendo que o hemisfério norte regista um volume de 34 617 000 t/ano, representando cerca de 90% da produção mundial de tomate para indústria (Quadro 1).



Estimativa de produção mundial do WPTC de tomates para processamento (em 1000 toneladas métricas)

Data da última atualização: 22/10/2020

QUADRO 1. PRODUÇÃO MUNDIAL DE TOMATE DE INDÚSTRIA. MEM.= MEMBROS DO WPTC, MISC.= OUTRAS FONTES (CONTATOS DA INDÚSTRIA, IMPRENSA, ...), EST.= ESTIMATIVA DO WPTC, NA AUSÊNCIA DE DADOS CONFIÁVEIS (ADAPTADO DE (WTPC, 2020)).

		2017 FINAL		2018 FINAL		2019 FINAL		2020 FORCAST		MÉDIA 2017-2019	VARIACÃO 2020 vs 2019	
HEMISFÉRIO NORTE *	MEMBROS NA ÁREA MEDITERRÂNEA (AMITOM)	Algeria**	600	Misc.	500	Est.	800	Me m.	1000	Est.	633	25%
		Egipto	300	Mem.	400	Me m.	400	Me m.	420	Me m.	367	5%
		França	195	Mem.	139	Me m.	154	Me m.	135	Me m.	163	-12%
		Grécia	400	Mem.	320	Me m.	400	Me m.	430	Me m.	373	8%
		Hungria**	100	Mem.	106	Me m.	100	Me m.	82	Me m.	102	-18%
		Irão**	980	Mem.	750	Me m.	1650	Me m.	1300	Me m.	1127	-21%
		Israel	200	Mem.	200	Me m.	200	Me m.	200	Me m.	200	0%
		Itália	5200	Mem.	4650	Me m.	4801	Me m.	5160	Me m.	4884	7%
		Malta**	8	Mem.	7	Me m.	8	Est.	8	Est.	8	0%
		Portugal***	1554	Mem.	1198	Me m.	1410	Me m.	1262	Me m.	1387	-10%
		Rússia**	400	Mem.	495	Me m.	552	Me m.	515	Me m.	482	-7%
		Espanha***	3350	Mem.	2800	Me m.	3200	Me m.	2650	Me m.	3117	-17%
		Síria**	42	Mem.	42	Me m.	42	Me m.	42	Est.	42	0%
		Tunísia	643	Mem.	618	Me m.	815	Me m.	961	Me m.	692	18%
		Turquia	1900	Mem.	1300	Me m.	2200	Me m.	2500	Me m.	1800	14%
		Ucrânia**	650	Mem.	735	Me m.	720	Me m.	800	Me m.	702	11%
		Subtotal AMITOM dos quais membros na UE		16522 10807		14260 9220		17452 10073		17465 9727		16078 10033
HEMISFÉRIO NORTE *	OUTROS MEMBROS	Brasil	1450	Mem.	1400	Me m.	1200	Me m.	1180	Me m.	1350	-1,7%
		Canadá	426	Mem.	451	Me m.	434	Me m.	438	Me m.	437	1%
		Califórnia	9492	Mem.	11137	Me m.	10144	Me m.	10255	Me m.	10258	1%
		China	6200	Mem.	3800	Me m.	4600	Me m.	5800	Me m.	4867	26%
		Japão	30	Mem.	28	Me m.	27	Me m.	23	Me m.	28	-15%
		Subtotal OUTROS MEMBROS		17598		16816		16405		17696		16940
HEMISFÉRIO NORTE *	NÃO MEMBROS	Bulgária	50	Misc.	30	Mis c.	40	Mis c.	40	Est.	40	0%
		República Checa	25	Est.	25	Est.	25	Est.	25	Est.	25	0%
		Marrocos	130	Est.	130	Est.	130	Est.	100	Mis c.	130	-23%
		Polónia	200	Misc.	200	Mis c.	175	Mis c.	175	Est.	192	0%
		Eslováquia	20	Est.	20	Est.	20	Est.	20	Est.	20	0%
		EUA excluindo Califórnia	408	Misc.	410	Mis c.	370	Mis c.	463	Mis c.	396	25%
		Subtotal NÃO MEMBROS		833		815		760		823		803
Hemisfério Norte total dos quais membros do WPTC dos quais União Europeia		34953 34120 11102		31891 31076 9495		34617 33857 10333		35984 35161 9987		33820 33018 10310	3,9% 3,9% -3,3%	
HEMISFÉRIO SUL *	MEMBROS	Argentina	488	Mem.	427	Me m.	395	Me m.	454	Me m.	437	14,9%
		Austrália	185	Mem.	228	Me m.	212	Me m.	210	Me m.	208	-0,9%
		Chile	1080	Mem.	1211	Me m.	1100	Me m.	907	Me m.	1130	-17,5%
		Peru	110	Mem.	100	Me m.	100	Me m.	100	Me m.	103	0,0%

	África do Sul	180	Mem.	135	Me m.	140	Me m.	150	Me m.	152	7,1%
	Subtotal membros	2043		2101		1947		1821		2030	-6,5%
NÃO MEMBROS	Républica Dominicana	220	Est.	258	Mis c.	258	Est.	181	Mis c.	245	-29,8%
	Índia	130	Est.	130	Est.	130	Mis c.	130	Est.	130	0,0%
	México	40	Est.	40	Est.	40	Est.	40	Est.	40	0,0%
	Nova Zelândia	50	Misc.	50	Mis c.	50	Est.	50	Est.	50	0,0%
	Senegal	53	Misc.	53	Mis c.	61	Mis c.	61	Est.	56	0,0%
	Tailândia	260	Est.	260	Est.	260	Est.	260	Est.	260	0,0%
	Venezuela	20	Est.	20	Est.	20	Est.	20	Est.	20	0,0%
	Subtotal não membros	773		811		819		742		801	-9,4%
	Total Hemisfério Sul	2816		2912		2766		2563		2831	-7,3%
TOTAL GERAL dos quais membros do WPTC WPTC como porcentagem da produção total		37769 36163 96%		34803 33177 95%		37383 35804 96%		38547 36982 96%		36652 35048 96%	3,1% 3,3% 0,2%

Por outro lado, no caso da produção nacional o número de produtores de tomate para indústria tem vindo a diminuir nos últimos anos, em 2020 as áreas de produção rondaram os 14 162 ha, com uma produtividade de 90,39 t/ha (IFAP, 2020) (Quadro. 2).

QUADRO 2. AJUDAS AO SETOR DO TOMATE- CAMPANHAS 1996/1997 A 2020 (ADAPTADO DE IFAP, 2020).

Campanha (1)	Nº Produtores (2)	Nº OP (3)	Área (4)	Produção contratada (ha) (5)	Produção matéria-prima (t) (6)	Produtividade (t/ha) (7)	Produção o produto acabado (t) (8)	Rendimento Industrial (9)	Taxa da ajuda (10)	Preço Médio do Tomate (€/t) (11)	Quota / Limiar em vigor (t) (12)
1996/1997	5 850	6	16 250	ND	879 893	54,15	162 832	5,40		95,49	
1997/1998	2 099	39	11 193	ND	771 697	68,94	136 640	5,65		93,58	
1998/1999	2 242	43	17 859	ND	987 884	55,32	169 342	5,83	24,741 euros/100Kg	90,77	939474
1999/2000	2 620	46	16 680	ND	996 526	59,74	190 626	5,23	21,743 euros/100Kg	88,05	850518
2000/2001	1 740	46	12 860	ND	854 682	66,46	173 333	4,93	17,496 euros/100Kg	88,05	866661
2001/2002	1 271	47	11 761	951 003	936 871	79,66	170 397	5,50	34,5 euros/t	80,79	1050000
2002/2003	998	40	11 851	1 026 811	879 845	74,25	154 540	5,69	34,5 euros/t	79,39	1050000
2003/2004	868	34	12 474	1 071 085	957 430	76,75	159 467	6,00	34,5 euros/t	80,34	1050000
2004/2005	817	28	15 134	1 199 721	1 171 066	77,38	177 253	6,61	34,5 euros/t	79,99	1050000
2005/2006	742	29	15 133	1 190 904	1 202 121	79,44	183 048	6,57	34,5 euros/t	78,38	1050000
2006/2007	631	30	12 474	1 114 800	982 081	78,73	159 990	6,14	34,5 euros/t	74,95	1050000
2007/2008	589	30	13 994	1 217 500	1 211 016	86,54	199 345	6,07	34,5 euros/t	81,13	1050000
2008	558	28	13 920	1 211 867	1 171 277	84,14	192 599	6,08	1235,5293 euros/ha	ND	
2009	589	29	16 207	1 425 370	1 379 558	85,12	227 316	6,07	1028,3780 euros/ha	ND	
2010	556	27	16 047	1 369 034	1 424 010	85,87	236 642	6,02	1045,4932 euros/ha	ND	
2011	509	24	14 985	1 344 975	1 163 703	77,66	189 172	6,15	1111,9888 euros/ha	ND	
2012	440	22	13 771	1 215 640	1 293 874	93,96	219 044	5,91	1,33 euros/t	ND	
2013	404	21	13 871	1 334 134	1 088 171	78,45	185 889	5,85	1,33 euros/t	ND	
2014	438	18	17 180	1 558 585	1 310 249	76,27	203 218	6,45	1,33 euros/t	ND	
2015	465	17	18 766	1 696 663	1 816 755	96,81	281 412	6,46	240,00 euros/ha	ND	
2016	493	16	18 459	1 728 029	1 614 054	87,44	263 107	6,13	240,00 euros/ha	ND	
2017	461	16	19 220	1 713 190	1 655 418	86,13	275 445	6,01	240,00 euros/ha	ND	
2018	378	14	13 836	1 340 396	1 224 483	88,50	215 676	5,68	240,00 euros/ha	ND	
2019	367	14	14468	1 309 240	1 440 256	99,55	243 365	5,92	240,00 euros/ha	ND	
2020	325	13	14 162(1)	1 352 608	1 280 037	90,39	-----	-----	240,00 euros/ha	ND	

A produção de tomate divide-se em cultura ao ar livre ou em estufa em sistema de hidroponia, sendo que este último é mais frequentemente usado para tomate fresco.

O cultivo em estufa tem como principal objetivo simular o conjunto de condições ideais de crescimento das plantas, de forma a alargar a época de cultivo, protegendo as culturas de condições ambientais adversas como temperaturas extremas e precipitação, para além de doenças e pragas (Blümel *et al.*, 1999). Segundo Koocheki *et al.* (2011) esta alternativa

apresenta maior benefício económico, dado que aumenta a produtividade e redução da sazonalidade dos produtos.

Por outro lado, o sistema hidropónico permite uma utilização mais eficiente da água e de fertilizantes, bem como o controlo de pragas e do clima envolvente, promovendo o aumento de qualidade, produtividade, rentabilidade e consequentemente maior competitividade do produto nos mercados (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

A prática do cultivo hidropónico surgiu na década de sessenta nos Países Baixos, sendo que, rapidamente se difundiu para outros países como os Estados Unidos da América, onde no final dos anos setenta existiam mais de 400 ha dedicados ao cultivos de vegetais hidropónicos, nomeadamente, tomate, pepino e alface (Blümel *et al.*, 1999). A produção hidropónica apresenta um método de cultivo com base em soluções de nutrientes minerais através da água, sem recurso ao solo. Neste sistema, a planta pode ser cultivada com as raízes em contacto com a solução de minerais nutrientes ou meios inertes, como a lã de rocha, cascalho ou substrato. Este método apresenta-se como um dos mais utilizados, dado que apresenta um processo de produção agrícola intensiva proporcionando a utilização eficiente de água em soluções minerais, com utilização relativamente curta em termos de área de superfície. Esta solução tem sido utilizada pelos produtores como um sistema de produção hortícola para um crescimento rápido de culturas tais como o tomate, o morango e o pepino (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

Em sistemas de hidroponia, alguns estudos revelaram que a tecnologia de aplicação de ozono em solução aquosa, promove o controlo da contaminação química e microbiana, bem como assegura o suporte na presença de oxigénio e contribui para a redução da possibilidade do desenvolvimento de resistência aos patógenos devido à elevada reatividade da solução (Graham *et al.*, 2011).

2.3. OZONO - CONCEITO E UTILIZAÇÕES

O ozono é uma substância química azul gasosa que se encontra naturalmente presente na atmosfera ao nível do mar em concentrações reduzidas e constitui um poluente atmosférico, presente nos fenómenos de *smog* em concentrações significativamente elevadas junto das grandes metrópoles (Nakano *et al.*, 2002). Esta substância é constituída por uma molécula triatómica inorgânica, constituída por três átomos de oxigénio. Sendo uma matéria altamente instável, esta molécula, quando exposta a condições específicas de pressão e temperatura permite produzir uma divisão em átomos de oxigénio com um

período de vida útil muito curto, retornando à sua forma original após esta duração (Raub *et al.*, 2001).

Por outro lado, a presença do ozono na troposfera possui um papel fundamental na oxidação de gases, sendo que de uma perspectiva química e climática permite regular a sua vida útil na atmosfera. Dada a sua importância, o ozono na troposfera constitui um dos três gases mais importantes para o efeito de estufa, devido à sua importância na manutenção da qualidade do ar e mudanças climáticas, sendo que ao longo das últimas três décadas tem sido um dos principais alvos de estudo científico (Wang *et al.*, 2019). A presença na troposfera possui um impacto adverso à saúde humana, sendo que a monitorização precária das emissões de poluentes na atmosfera (devido a atividades industriais), aliado às alterações climáticas e aumento da temperatura, provoca um efeito complexo nas concentrações de ozono (Selin *et al.*, 2009).

O ozono possui diversos tipos de utilizações, sendo que na área da medicina pode funcionar como um agente terapêutico (Raub *et al.*, 2001). Do ponto de vista industrial, a utilização mais comum do ozono é representada pelas suas aplicações na desinfecção de água, conservação de alimentos comestíveis, agricultura e pecuária. No caso da água para consumo, enquanto agente oxidante, o ozono é frequentemente utilizado como desinfetante e como forma de controlo de sabor, cor e odor na água. Além disto, esta substância atua como agente microbiano, sendo um recurso germicida e purificador natural devido às suas propriedades antibacterianas, preservando a integridade dos alimentos e da água (Raub *et al.*, 2001).

2.4. OZONO NA AGRICULTURA

A aplicação do ozono no setor agrícola apresenta uma alternativa sustentável à utilização de “químicos” para o cultivo e produção de plantas (Raub *et al.*, 2001). A nível mundial, a aplicação do ozono tem sido verificada essencialmente na indústria alimentar, uma vez que apresenta propriedades oxidantes, antimicrobianas que promovem a qualidade dos produtos e prolongam a validade dos mesmos (Sugawara & Nikaido, 2014).

No setor agrícola, os resíduos pesticidas sempre representaram um elevado risco para a segurança e saúde humana, contudo os desenvolvimentos da produção agrícola, da ciência e tecnologia, permitiram alcançar novos métodos para a degradação de resíduos pesticidas, sendo que o tratamento com ozono tem sido prática frequente (Graham *et al.*, 2011).

No entanto, a pulverização de culturas com recurso a pesticidas de forma a prevenir e controlar os efeitos nefastos resultantes de pragas, em particular de insetos, é uma medida necessária para garantir os níveis de produtividade de culturas, prevenindo cerca de 30% de possíveis perdas económicas. Ainda assim, o recurso a estes pesticidas tóxicos resulta na produção de resíduos com longos ciclos de vida, especialmente quando utilizados excessivamente e de forma desregulada (Graham *et al.*, 2011).

A utilização de ozono gasoso apresenta uma solução alternativa com elevada capacidade oxidativa e germicida, aliando, ainda, um período de vida curto (breves minutos) quando em contacto com o solo, decompondo-se em oxigénio diatómico simples (Takayama *et al.*, 2006).

A utilização de ozono na agricultura garante a desinfeção através da neutralização e destruição de parasitas, como é o caso de parasitas das raízes das plantas que consomem fontes de nutrientes presentes nas fibras das plantas, que motivam a proliferação descontrolada das células criando más formações que entram em conflito com o fluxo fisiológico da água, provocando um aumento da sensibilidade das plantas na reação a doenças (Remondino & Valdenassi, 2018).

Estas aplicações possuem um maior efeito no cultivo de produtos em estufa, que é essencial para garantir a reutilização de águas de irrigação, onde o principal objetivo é economizar água e reutilizar nutrientes (Martínez *et al.*, 2011).

Atualmente, os problemas existentes nos solos agrícolas como a baixa permeabilidade, baixa condutividade hidráulica e endurecimento são amplamente atribuídos a mudanças na carga superficial das argilas e à interação da matéria orgânica, pH e força iónica.

A ação do ozono enquanto agente de coagulação, floculação e filtração sugere que esta substância possui efeitos benéficos na gestão de água para irrigação (Raub *et al.*, 2001). Neste setor, a utilização do ozono, em doses reduzidas (<1 mg/L), em conjunto com a água para fins de irrigação de culturas, permite melhorar a qualidade das colheitas, reduzir a presença de insetos e doenças, aumentar a penetração da água em substratos e reduzir a necessidade de fertilizantes (Raub *et al.*, 2001).

No estudo de Ciccarese *et al.* (2007) avaliado o impacto do tratamento de substrato com recurso ao ozono no controlo das raízes do tomate em estufa. No caso do cultivo em estufa, o ozono foi aplicado por fumigação tendo sido possível concluir que a sua aplicação permitiu reduzir o impacto da *Pyrenochaeta lycopersici* nas raízes e aumentar a produção de tomate comercializável, em comparação com o cultivo sem tratamento.

Outro estudo, realizado com abóboras, avaliou o aparecimento do míldio, causado pela *Sphaerotheca fulginea*, tanto em campo aberto como em estufa. Concluiu-se que a aplicação de uma solução aquosa em maiores concentrações de ozono, permitiu uma redução significativa da colonização fúngica pela interação entre o ozono e míldio, não comprometendo a proteção do cultivo (Khan & Khan, 1998).

Por outro lado, no estudo de Marique *et al.* (2012), foram utilizadas sementes de trigo contaminadas com *Fusarium* spp. e *Alternaria* spp. para analisar quais os efeitos do tratamento de ozono nestas sementes, sendo que apenas se verificou a desinfecção no *Fusarium* spp.

Para testar a eficácia em nemátodes, parasitas microscópicos que condicionam as raízes das plantas, Msayleb & Ibrahim (2011) aplicaram ozono por fumigação a gás num saco selado com amostras infetadas com estes parasitas sendo que a sua aplicação nas águas de irrigação (6 g/L) permitiram controlar 100% desta praga. Desta forma, é possível concluir que o ozono possui também um efeito letal sobre os nemátodes, por fumigação gasosa ou por ozonização das águas de irrigação.

Segundo Cui *et al.* (2014) foi possível verificar os efeitos do ozono na presença da mosca-branca numa plantação de tomate. Neste estudo, as elevadas concentrações de O₃ aumentaram significativamente a produção de compostos orgânicos voláteis (compostos antagonistas de *bemisia tabaci*) emitidos pelas plantas, e mais recentemente Cui *et al.* (2016) comprovou que para além deste efeito também se denotou uma redução na presença de nutrientes disponíveis para a alimentação desta praga o que, consequentemente levou à diminuição da sua presença no cultivo de tomate.

Para além dos ensaios em que o ozono é testado como potencial pesticida, este composto tem também suscitado estudos em pós colheita ou em armazenamento, visto que a sua

capacidade de inativação de bactérias, fungos, leveduras, parasitas e vírus, permite estender o período de vida útil dos produtos (Chonata, 2018).

Neste sentido Singh *et al.* (2002) destaca a importância da aplicação de ozono aquoso em pós colheita ou armazenamento na inativação de bactérias em diversos frutos e hortícolas, nomeadamente em cenouras e alfaces como prevenção de infeções por *Escherichia coli*. Foi comprovado também que a aplicação do ozono gasoso no armazenamento de maçãs e amoras permite verificar a redução no crescimento de fungos (Chonata, 2018), bem como no caso do armazenamento de tomates, morangos, uvas e ameixas em que concentrações baixas de ozono servem de resposta a *Botrytis cinerea* (Tzortzakis *et al.*, 2008).

No estudo realizado por Souza *et al.* (2018) foi avaliado o impacto da aplicação do ozono, no formato gasoso no peso, cor, concentração de resíduos solúveis, pH e firmeza em cenouras. Neste caso, as diferentes concentrações de ozono aplicadas, a temperatura dos ensaios e o tempo de tratamento, permitiram concluir que os efeitos na perda de peso do produto e a presença de resíduos solúveis são nulos, bem como o valor de pH do produto, dado que não sofreram qualquer alteração. Contudo, O₃ impediu o aumento excessivo dos sólidos solúveis durante o armazenamento, aumentando assim a vida útil das cenouras.

2.5. IRRIGAÇÃO COM OZONO E FUMIGAÇÃO

No setor agrícola, o desperdício de água é um problema global, dado que fatores como a conservação de água inadequada, perdas na distribuição e a sua utilização desmesurada e fora de época, provocam o desperdício de cerca de 1 500 triliões de litros de água por ano (Greenwood *et al.*, 2010). As águas residuais não só representam uma fonte alternativa de irrigação, como a possibilidade de utilizar os nutrientes das plantas permitindo a transferência de elementos fertilizantes como azoto (N), fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica e micronutrientes para o solo agrícola (Gatta *et al.*, 2015). Contudo, nos processos de irrigação de culturas, a contaminação da água é um fator crítico no cultivo de produtos, pois o transporte de ovos, nematodes e raízes infestadas possuem um grande impacto nas culturas (Landa Fernández *et al.*, 2019) sendo que são uma fonte de organismos patogénicos e substâncias químicas potencialmente perigosas, como bactérias e vírus (Gatta *et al.*, 2015).

A aplicação de ozono nas águas de irrigação é uma alternativa que permite melhorar o vigor da cultura, reduzir a presença de doenças e insetos, aumentar a penetração da água e reduzir a necessidade de utilização de fertilizantes (Raub *et al.*, 2001).

A utilização do ozono no tratamento de águas de irrigação constitui uma prática comum, uma vez que o efeito desinfetante é utilizado na luta contra parasitas e insetos, infeções bacterianas e fúngicas sobretudo em plantações em campo aberto ou em ambiente de estufas, sem necessidade de recorrer a produtos químicos ou sintéticos como peróxido de hidrogénio, derivados de cloro, amónio, ácido peracético ou fungicidas (Raub *et al.*, 2001).

O ozono não liberta resíduos, não representa qualquer risco de contaminação tanto nos solos como nos lençóis freáticos e nos canais de irrigação (Raub *et al.*, 2001).

No caso da reciclagem da água de irrigação em ambiente de estufa na produção de tomate hidropónico, este processo requer a remediação dos fluídos de forma a reduzir o risco de proliferação de patógenos e acumulação de outros compostos químicos. Neste sentido, a utilização do ozono na irrigação constitui uma alternativa eficaz para reduzir os níveis de contaminantes químicos e a presença de patógenos na água de irrigação (Graham *et al.*, 2011).

A aplicação de ozono através da fumigação, permite garantir a redução de pragas sem deixar qualquer resíduo (Kells *et al.*, 2001). A eficácia deste tratamento resulta da aplicação desta substância em frutos frescos e ricos em matéria orgânica, sendo que a exposição das pragas expostas ao gás permite a sua eliminação, contudo no caso de se encontrarem alojados em feridas ou infeções, poderiam sobreviver (Gabler *et al.*, 2010). A fumigação por aplicação de ozono possui vantagens face às tecnologias existentes, dado que permite reduzir a presença de insetos e fungos num curto espaço de tempo (cerca de 3 dias). Adicionalmente, o período de vida curto do ozono permite reduzir o impacto ambiental da sua aplicação (Kells *et al.*, 2001). Sendo assim, a aplicação de ozono na fumigação permitiu reduzir a presença de resíduos de pesticidas nas águas e na superfície dos frutos (Gabler *et al.*, 2010).

2.6. PULVERIZAÇÃO COM OZONO

As pragas e doenças representam uma grande ameaça à produção agrícola, podendo representar perdas significativas de produtividade das culturas, tornando-se de extrema importância controlar e prevenir o seu aparecimento e expressão. Para tal, foram-se desenvolvendo produtos químicos (pesticidas) para controlo e prevenção das mesmas.

No entanto, os usos excessivos e inadequados dos pesticidas apresentam uma ameaça significativa para o meio ambiente e para a saúde e bem-estar do ser humano como consumidor final e/ou como aplicador ou manipulador desses mesmos produtos.

Desta forma, é de extrema importância procurar e desenvolver alternativas que contribuam para a redução do uso de produtos químicos de síntese na agricultura, tornando a atividade menos nociva para o ambiente e para o Homem.

O ozono pode ser essa alternativa dado que não liberta quaisquer resíduos que fiquem no solo ou lixivem para canais de irrigação e águas subterrâneas e apresentar um potencial oxidante muito elevado que pode servir de desinfetante rápido e eficaz (Remondino & Valdenassi, 2018).

Estudos recentes apontam a água ozonizada aplicada em spray como uma potencial técnica de prevenção de doenças transmitidas pelo ar, com redução da incidência de *Cladosporium fulvum* na cultura do tomate e sem apresentar efeitos negativos no desenvolvimento das plantas (He *et al.*, 2015).

Já Ebihara *et al.* (2012) no seu estudo verificou que a aplicação de ozono por *spray* durante 30 segundos eliminou os afídeos presentes nas plantas testadas e sem causar danos às mesmas.

2.7. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UTILIZAÇÃO DO OZONO

A presença de pesticidas na atividade agrícola provoca a contaminação dos solos e das águas subterrâneas, sendo que este facto tem sido alvo de estudo, de forma a encontrar novas alternativas que permitam o tratamento eficaz destes recursos naturais (Pierpoint *et al.*, 2003). O ozono representa a alternativa comercial com a maior capacidade oxidante que permite uma elevada eficácia na destruição de bactérias, vírus e odores. Esta substância possui um período de vida muito curto tanto no solo como na água, decompondo-se em oxigénio diatómico simples e oxida outros compostos (Ebihara *et al.*, 2012). Assim sendo, o ozono possui diversos benefícios para o meio ambiente, dada a sua “desinfecção” não produzindo nenhum efeito ambiental adverso, promovendo a redução do consumo de produtos químicos nocivos (Remondino & Valdenassi, 2018). Neste sentido, a utilização de ozono na agricultura apresenta uma vantagem evidente, viabilizando a reutilização das águas de irrigação (Martínez *et al.*, 2011) que também promove vantagens económicas uma vez que é possível reduzir os custos operacionais de cultivo, dado que se extingue a necessidade de aquisição frequente de fertilizantes, bem como custos de dosagem, armazenamento e gestão de recursos (Martínez *et al.*, 2011; Remondino & Valdenassi, 2018).

Adicionalmente, a produção de ozono apresenta uma alternativa viável, dado que é composto por água e oxigénio e a tecnologia permite a sua criação de forma fácil e eficiente, a sua aplicação não implica um aumento dos custos operacionais fixos, permitindo o aumento dos lucros dos agricultores. A utilização do ozono em detrimento do metame de sódio e outros pesticidas (mais dispendioso), permite a exploração de outros métodos mais rentáveis, que promovem o aumento dos lucros e dinamização das economias nacionais. Contudo, a aplicação deste método em contexto hidropónico apresenta um aumento de custos de investimento, custos energéticos, especialmente de as infraestruturas tiverem aquecimento e arrefecimento artificial, quando comparado com o método de cultivo em campo aberto, no qual os custos são mais reduzidos (Msayleb & Ibrahim, 2011).

Por outro lado, a capacidade de aumentar o período de vida útil de frutas e vegetais constitui uma das vantagens significativas do ozono, uma vez que a sua capacidade oxidante permite destruir componentes vitais das células de microrganismos patogénicos afetando a sua capacidade reprodutiva, promovendo o aumento da biodiversidade (Landa Fernández *et al.*, 2018). Adicionalmente, após a aprovação utilização de ozono na produção de alimentos pela American Food and Drug Administration, possibilitou o consumo dos mesmos pelo ser humano, bem como a aplicação em cosméticos e medicamentos (Msayleb *et al.*, 2013).

Por outro lado, a eficácia da aplicação do ozono nos solos pode ter limitações, dado que reações concorrentes entre a matéria orgânica, as condições do solo, porosidade e pH podem comprometer a sua aplicação (Pierpoint *et al.*, 2003). Ainda assim, o ozono pode não ser considerado universalmente benéfico uma vez que a utilização de elevadas concentrações pode comprometer a qualidade nutricional, alterando o sabor e cor do produto, estando estas variáveis sujeitas à dosagem utilizada e condições de utilização (Coelho *et al.*, 2015). Segundo o autor, ainda que possua uma rápida decomposição sem rasto de resíduos alimentares, esta substância caso entre em contacto com o ser humano pode afetar o sistema respiratório e causar sintomas de toxicidade, como turtas, dor de cabeça, irritação de garganta e tosse, sendo necessário prevenir o contacto prolongado.

Assim disso, o ozono representa uma alternativa com custos de utilização reduzidos, eficaz e de rápida implementação, que permite desinfetar e limpar os sistemas de irrigação utilizados (Lynch & Swift Jr., 2008).

2.8. CASOS DE ESTUDO

Casos de estudos, são considerados por William Goode, como um meio de organizar dados e como um ponto de partida para trabalhos futuros dentro da área em estudo (Goode & Hatt, 1975).

Assim, de modo a aprofundar o conhecimento específico sobre o tema da aplicação de ozono na agricultura, foram realizados casos de estudos com base em trabalhos e artigos científicos publicados que apresentassem evidências das diferentes aplicações de ozono.

Dos diferentes trabalhos já realizados nesta temática destacamos os seguintes:

A aplicação do ozono no tratamento e degradação de pesticidas tem sido frequentemente utilizada na agricultura. Segundo o estudo de Wang *et al.* (2019) o ozono possui diversos mecanismos que permitem a degradação de pesticidas, sendo que a capacidade oxidante direta (derivado dos átomos de oxigênio) e indireta (promovida pelos radicais de hidroxila) representa uma das principais valências desta substância. No decorrer desta investigação, foi possível concluir que as aplicações de quantidades reduzidas de ozono resultam em alterações pouco significativas nas dimensões, aspeto, características e qualidade dos alimentos. Contudo, com o aumento exponencial do consumo humano de alimentos, a opção de utilizar o ozono no tratamento de resíduos pesticidas apresenta-se como uma alternativa viável, sendo que é necessário aumentar o desenvolvimento da aplicação deste método no processamento de produtos, de forma a garantir os níveis de eficácia na degradação de resíduos pesticidas e a investigar os níveis de toxicidade existentes.

De outra forma, segundo Graham *et al.* (2011b), de forma a determinar os impactos da aplicação de ozono na produtividade no cultivo de tomate foram analisados os impactos desta substância nos frutos através do método hidropónico. Nesta investigação, através da técnica de irrigação gota a gota, foram utilizadas três quantidades de solução aquosa de ozono (0,0 mg/L; 0,5 mg/L e 3,0 mg/L) num total de 60 plantas, com aplicação das quantidades em lotes de 20 plantas. Após recolha de resultados, foi possível concluir que na zona com maior irrigação de ozono (3,0 mg/L) os resultados permitiram verificar o aumento significativo da zona foliar, da matéria seca e da espessura do caule. Por outro lado, não foram observadas quaisquer alterações nos tratamentos utilizados relativamente à taxa de acumulação de CO₂, concentração de CO₂ na folha, índice de clorofila e produção de frutos.

A aplicação do ozono em solução aquosa como técnica de desinfecção de água irrigação de culturas, não é uma técnica comum quando comparada com outros métodos. Este método apresenta uma ascensão lenta na indústria dado que possui um custo e

complexidade elevados na aplicação, o potencial de risco e a necessidade de garantir a sua remoção antes da sua aplicação na produção. Contudo, este estudo permite concluir que a aplicação de ozono em solução aquosa em quantidades residuais pode ficar retido na água de irrigação, sendo que a sua presença não é significativa para que se considere prejudicial à saúde.

Por outro lado, o estudo desenvolvido por Landa Fernández *et al.* (2019) pretendia investigar os impactos da utilização de ozono na água de irrigação em culturas de tomate. Neste sentido, os efeitos dos nemátodes parasitas nas plantas afetam a produtividade na cultura de tomate, sendo que a sua proveniência pode ter origem nas águas de irrigação. A aplicação do ozono nas águas de irrigação mostrou-se um método eficaz, uma vez que permitiu reduzir a infestação da produção de tomate causada por este parasita através dos danos causados na estrutura de paredes celulares dos ovos dos es. Nesta aplicação foi possível verificar que o aumento da concentração de ozono provoca a redução do tempo necessário para inativar este parasita, contribuindo para melhorar a produtividade da cultura do tomate e reduzir as perdas agrícolas causadas por este.

O estudo destes trabalhos científicos constitui um elemento importante para o delineamento e estruturação de ideias e linhas de pensamento para o presente trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio foi desenvolvido nas estufas da empresa Kagome Agri-Business Research and Development Center, Unipessoal LDA, situada na Herdade da Pernada, Marateca (Fig.1). As estufas estão equipadas com um sistema de aquecimento (Munters© 2.0) que funciona a gás. Têm aberturas automáticas no topo e nas laterais que funcionam consoante a temperatura.

As estufas tem dezasseis bancadas e está equipada com um sistema de rega automatizado tendo também o sistema de fertilização ligado ao mesmo programador.

As estufas são normalmente utilizadas para produção de semente de tomate de indústria em hidroponia.

Para este ensaio foi utilizada a variedade KGM121, variedade comercial de tomate de indústria conhecida pelo seu alto teor em licopeno. As plantas foram tutoradas e ajustadas durante o ciclo de forma a garantir um crescimento ereto. Foram utilizados vasos de 3 L, fertilização à base de N-P-K 20-20-20 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ durante o ciclo e em fase final KNO_3 . A dosagem foi baseada na eletrocondutividade da água de rega. A rega foi ajustada conforme as necessidades hídricas de cada fase do ciclo e variou entre 120 ml/dia a 1080 ml/dia/ planta.

A aplicação de ozono foi feita via rega com um equipamento cedido pela empresa *Funcional*, o equipamento é um protótipo que produz 5 g/h de O_3 . O ozono foi injetado no sistema de rega através de um injetor venturi (Fig.2).



Figura 1. Localização da estufa do ensaio.



Figura 2. Protótipo de produção de ozono.

A aplicação de O_3 via foliar foi feita através de um pulverizador de mão, com água ozonizada com uma concentração de O_3 de 0,5 mg/l como alternativa à utilização de pesticidas (Fig. 3).

A concentração de O_3 na água de rega e na água ozonizada foi verificada com o "Kit teste de ozono - HI38054" da marca *Hanna Instruments*® (Fig. 4).



Figura 3. Ozonização da água para pulverização.



Figura 4. Análise de concentração de ozono, "kit teste ozono".

3.2. MODALIDADES ESTUDADAS

O ensaio foi dividido em sete modalidades diferenciadas em termos de aplicação de fertilizantes, fungicidas e ozono (Quadro 3) distribuídas de forma aleatória no plano de ensaio apresentado na figura 5.

QUADRO 3. DESCRIÇÃO DE CADA MODALIDADE E RESPECTIVO ACRÓNIMO.

(Acrónimo)	Modalidade	Fertilização 50%	Fertilização 100%	Fungicida	O ₃ Rega	O ₃ Spray
IO ₃ +Ft100%+Fg	Rega com ozono + 100% de fertilizante + tratamento com fungicida	Não	Sim	Sim	Sim	Não
IO ₃ +Ft50%+Fg	Rega com ozono + 50% de fertilizante + tratamento com fungicida	Sim	Não	Sim	Sim	Não
IO ₃ +Sp.O ₃ +Ft100%	Rega com ozono + Tratamento com ozono + 100% de fertilizante	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Sp.O ₃ + Ft100%	Tratamento com ozono + 100% de fertilizante	Não	Sim	Não	Não	Sim
Controle/Ft100%+Fg	100% de fertilizante + tratamento com fungicida	Não	Sim	Sim	Não	Não
Controle/Ft50%+Fg	50% de fertilizante + tratamento com fungicida	Sim	Não	Sim	Não	Não
Controle/Ft50%-Fg	100% de fertilizante	Sim	Não	Não	Não	Não

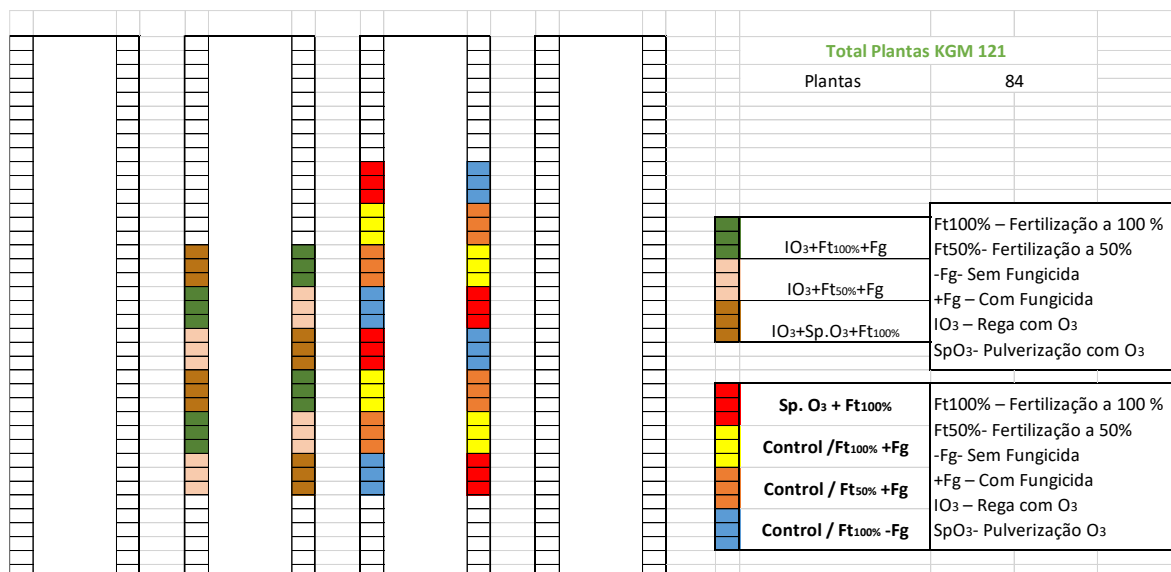


Figura 5. Esquema do ensaio

Os tratamentos com fungicidas químicos e ozono pulverizado foram aplicados duas vezes por semana, de acordo com as modalidades, de forma preventiva, dada a elevada humidade dentro das estufas ser propícia à proliferação de fungos e bactérias.

A duração, frequência e débito da rega foi igual para todas as modalidades, sendo que a modalidade de ozono via rega teve sempre ozono presente nestas irrigações. Nas modalidades com fertilização a 50%, o controlo foi efetuado manualmente, ou seja, foram retirados os gotejadores da mangueira principal que iriam debitar a água fertilizada no vaso sendo aplicada a quantidade de água não fertilizada correspondente com um jarro medidor. Desta forma, garantiu-se que a redução a 50% da aplicação de fertilizante na planta foi efetuada sem afetar a quantidade de água fornecida.

A nível de tratamentos fitossanitários e de tratamentos com ozono foliar, de forma a garantir que as modalidades tratadas com ozono/ sem fungicida e as modalidades sem ozono/com fungicida seriam realmente testadas, de forma fidedigna, aquando das pulverizações de ozono e fungicidas as plantas das modalidades não tratadas foram isoladas com plástico, alternadamente (Fig. 6).



Figura 6. Isolamento de modalidades sem aplicação de ozono pulverizado.

3.3. PARÂMETROS DE ESTUDO

Foram avaliados diferentes parâmetros morfológicos e fisiológicos das plantas ao longo do ciclo sendo a qualidade dos frutos avaliada no final do ensaio. Além disso, ao longo do ensaio foram realizadas observações quanto à incidência de doenças nas plantas e ainda se verificou o estado da água da conduta de rega, no final do ensaio, a fim de se quantificar resíduos sólidos presentes na mesma.

O ensaio foi composto por sete modalidades, cada uma com quatro repetições, sendo que cada repetição tinha três plantas (Fig. 7).



Figura 7. Distribuição de plantas por modalidade.

As avaliações foram realizadas em todas as repetições de cada modalidade, tendo-se considerado a média das três plantas por repetição.

3.3.1. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

Todos os parâmetros de avaliação do desenvolvimento das plantas foram avaliados aos 29, 50, 70, 100 e 120 dias após a plantação (DAP).

3.3.1.1. ALTURA/ COMPRIMENTO E LARGURA DAS FOLHAS

A altura das plantas foi avaliada com base na medição com uma fita-métrica desde a base da planta até ao ponto mais alto da mesma.

Na análise das folhas, as folhas selecionadas para todas as medições foram as folhas abaixo dos cachos, à data, seguindo o método utilizado na empresa. O comprimento das folhas foi medido desde a base até ao folíolo mais distante e a largura das folhas foi medida na zona com os folíolos mais distantes. Ambos os parâmetros foram contabilizados com uma fita-métrica.

Todos os valores foram expressos em centímetros (cm) (Fig. 8).



Figura 8. Medição de comprimento (esquerda) e largura (direita) das folhas.

3.3.1.2. ÍNDICE DE CLOROFILA

O teor de clorofila foliar está diretamente relacionado com o potencial fotossintético de uma planta e, conseqüentemente, com a sua produtividade. Para além disto, pode também fornecer indicações acerca do estado nutricional da planta e da presença de fatores de stress (Peñuelas & Filella, 1998).

Assim, a determinação da quantidade relativa de clorofila pode ser feita através de métodos óticos, não destrutivos e *in situ* (Richardson *et al.*, 2002) sendo o SPAD-502 Plus (Soil-Plant Analysis Development, KONICA MINOLTA), um instrumento, usado nesta metodologia, calibrado para leitura de clorofila (Fig. 9). O aparelho SPAD lê a absorvância de dois comprimentos de onda diferentes, de domínio espectral vermelho (≈ 650 nm) e infravermelho (≈ 940 nm) (Richardson *et al.*, 2002).

Ao longo do ensaio, foram realizadas medições aos 29, 50, 70, 100 e 120 DAP, respetivamente. Para cada repetição de cada modalidade foi realizada uma média de 15 leituras de SPAD, correspondente a 5 leituras por folíolo de cada folha selecionada. A folha selecionada foi, também, a folha abaixo do cacho, à data.



Figura 9. Leitura de SPAD.

3.3.1.3. TAXA DE MATURAÇÃO

A taxa de maturação foi avaliada na mesma data para todas as modalidades. Os frutos foram recolhidos das três plantas de cada modalidade sendo divididos em graus de maturação diferentes (verdes, laranja e vermelhos), contabilizados e pesados, respetivamente. (Fig. 10).



Figura 10. Exemplo da separação de frutos verdes, laranja e maduros por modalidade.

3.3.1.4. INCIDÊNCIA DE DOENÇAS

A avaliação da incidência de doenças foi realizada com base em observações visuais ao longo de todo o ensaio. Comparou-se plantas tratadas com ozono, fungicidas e plantas sem qualquer tipo de tratamento fitoquímico, através de identificação visual das modalidades mais afetadas.

3.3.1.5. SISTEMA RADICULAR

No final do ensaio foi avaliado o sistema radicular de todas as três plantas das quatro modalidades estudadas, com base na perda de seiva de cada uma.

Com base na metodologia descrita por (Ma *et al.*, 2004), para cada planta foi cortado o caule 2 cm acima da superfície do substrato, tendo sido a zona de corte coberta de imediato um algodão (com peso previamente determinado) e isolado com película aderente. Após determinado período 30 minutos, a seiva foi absorvida pelo algodão e o mesmo foi novamente pesado, numa balança de precisão (RADWAG, AS110.R1), tendo-se subtraído

a este, o peso inicial, sem seiva (Fig. 11). Este método de avaliação foi executado para todas as 3 plantas das 4 modalidades.

Esta determinação pode ser considerada como um reflexo da atividade fisiológica da raiz das plantas, uma vez que a perda de seiva pelo caule, na zona de corte, pode ser causada pela absorção ativa de água pela raiz (Ma *et al.*, 2004).



Figura 11. Avaliação do sistema radicular por modalidade com base na perda de seiva.

3.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

No final do ensaio foram recolhidas amostras de frutos de cada modalidade e repetição, tendo sido selecionados 20 frutos sãos e maduros para posterior análise de qualidade.

As amostras de cada modalidade, foram analisadas no laboratório da empresa Kagome Agri-center.

3.3.2.1. QUALIDADE DOS FRUTOS

As características de qualidade do tomate variam consoante a variedade, além disso, estas são diretamente influenciadas pelas condições em que se desenvolvem.

A cor, textura e sabor são as principais características que determinam a qualidade destes frutos. O sabor resulta da combinação entre acidez e açúcares, sendo a combinação de altos níveis de acidez e açúcar o que confere mais sabor ao tomate (Saltveit, 2005).

O tomate é um fruto com características organoléticas e físicas que variam consoante a sua finalidade. Para o tomate de indústria o fruto ideal é aquele que apresenta alta acidez, baixo pH, alto TSS e boa cor (Calvo *et al.*, 2008).

Os parâmetros de qualidade de TSS, pH e cor, foram analisados a todas as amostras de sumo preparadas através da trituração dos frutos numa liquidificadora, durante 2 minutos.

3.3.2.1.1. TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS

O Teor de Sólidos Solúveis (TSS), expresso em Grau Brix ($^{\circ}$ Brix), foi determinado através do índice de refração pela leitura direta de sumo de cada modalidade utilizando um refratômetro digital (ATAGO, Pocket, PAL-1) (Fig. 12).



Figura 12. Refratômetro digital ($^{\circ}$ Brix), Atago.

Este parâmetro reflete a composição em compostos solúveis em água em células da polpa, como os açúcares, ácidos, sais e outros compostos (Castellanos-Morales *et al.*, 2010).

Quanto maior for o TSS, ou seja, maior o valor dos $^{\circ}$ Brix, melhores serão as suas características organoléticas (Palha, 2005). Além de ser um parâmetro bastante importante para o rendimento do processamento em fábrica (Calvo *et al.*, 2008).

Para a maioria das variedades de tomate o TSS varia entre os 4,5 e 5,5 $^{\circ}$ Brix (Calvo *et al.*, 2008).

3.3.2.1.2. pH

O pH foi determinado com um potenciômetro digital (pH METER D-71, HORIBA) (Fig. 13). A faixa normal de pH para tomate varia entre os 4,2 e 4,5 e apresenta grande expressão no sabor mais ou menos amargo dos frutos, quanto maior o pH, maior o sabor amargo (Calvo *et al.* 2008). Além disso, valores de pH mais baixos são de interesse para indústria, uma vez que reduzem ou eliminam a adição de ácido cítrico nos concentrados de tomate, importante para conservação do produto.

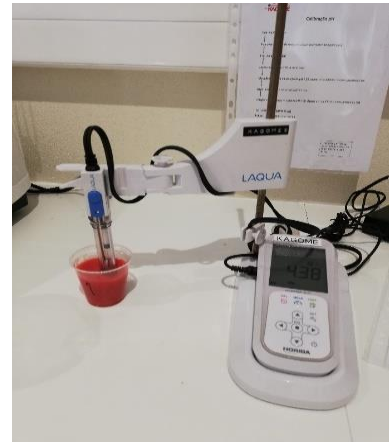


Figura 13. Potenciômetro digital (pH), HORIBA.

3.3.2.1.3. COR

Os parâmetros de cor foram determinados com através de um colorímetro (KONICA MINOLTA, CR-5) (Fig. 14).



Figura 14. Colorímetro (a^* , b^* , L^*), KONICA MINOLTA.

Este aparelho mede a luz refletida dos objetos em cada comprimento de onda específico, quantificando assim dados espectrais para determinar as coordenadas de cor da amostra no espaço de cor $L^* a^* b^*$, apresentando dados numéricos.

Assim, L^* representa a luminosidade; a^* representa as coordenadas cromáticas de vermelho/verde (maior valor de a^* traduz-se então mais vermelho) e b^* representa as coordenadas cromáticas amarelo/azul (maior valor de b^* traduz-se em mais amarelo) (Calvo *et al.*, 2008).

Assim usa-se para classificação de qualidade quanto à cor de tomate, a relação a/b , maiores valores a/b indica frutos mais vermelhos e por isso com melhor classificação/qualidade.

Para o tomate os valores “normais” de cor, relação a/b , situam-se entre os 2,2 e 2,5 (Calvo *et al.*, 2008).

3.3.2.1.4. FIRMEZA DOS FRUTOS

A firmeza dos frutos está relacionada com o estado de maturação, condições climáticas e características genótípicas (Saltveit, 2005). É um parâmetro importante de se considerar quando os frutos têm que ser transportados do local de produção até ao local de processamento, maior firmeza, traduz-se numa maior resistência no transporte.

Para a determinação da firmeza dos frutos foi utilizado o aparelho FORCE MEASUREMENT (IMADA, DS2-200N) e os valores foram expressos em quilograma-força (kgf).

Para as medições foram selecionados apenas frutos são, sem rachaduras e com grau de maturação ideal (nem frutos verdes/alaranjados nem frutos a iniciar a senescência).

Os frutos foram colocados sobre uma superfície plana e fixa, e ajustou-se o braço móvel à superfície do fruto, sem aplicar alguma força. Neste ponto, colocou-se o aparelho a “zero” e aplicou-se força que marque uma distância de 0,5 cm. Foram realizadas dez medições para cada modalidade (Fig. 15).



Figura 15. Medição de firmeza de frutos- Penetrômetro, IMADA.

3.3.3. SISTEMA DE REGA

Após o término do ensaio, foi verificado o sistema de rega com quantificação de resíduos sólidos na água do sistema de rega.

Foi recolhido 1 L de água das condutas de cada bancada onde decorreu o ensaio (Fig. 16).

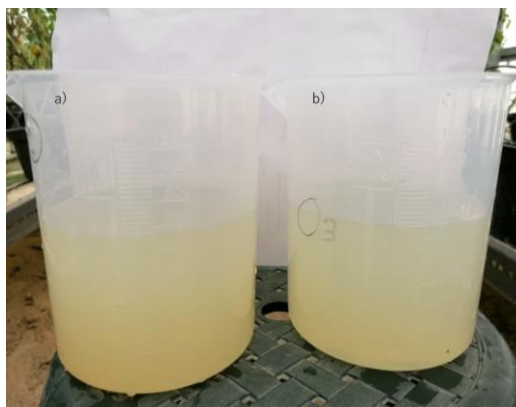


Figura 16. Água extraída do sistema de rega. a) sem O_3 ; b) com O_3 .

Uma das bancadas tinha injeção de ozono na conduta de rega e a outra conduta não tinha qualquer presença de ozono.

A água recolhida foi filtrada com papel de filtro Whatman 110 mm, de forma aos resíduos sólidos ficarem retidos no papel de filtro. Os papéis de filtro foram pesados, posteriormente, numa balança de precisão (RADWAG, AS110.R1).

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na análise de resultados, foi usada uma análise de variância, os testes de comparação de médias, e no caso de incidências de doenças, quer nas raízes quer nas folhas, testes de comparação de frequências de ocorrência e grau de severidade entre os vários tratamentos. Recorreu-se a ferramentas de análise do Excel e a outro software - Statistical, linguagem R.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

4.1.1. ALTURA/ COMPRIMENTO E LARGURA DAS FOLHAS

A altura das plantas, comprimento e largura das folhas foram medidas ao longo do ensaio de forma a avaliar a evolução e desenvolvimento da planta (Fig. 17).

Os resultados obtidos relativos à altura das plantas mostraram que em ambas as modalidades com fertilização a 50% (Ft 50%) as plantas apresentaram menor desenvolvimento em altura. Contudo, a modalidade representada a rosa (Fig.17), com aplicação de ozono por irrigação (Ft 50% + IO₃+Fg), apresentou um ligeiro aumento de altura na fase final do ciclo, após os 100 DAP, em comparação com a modalidade Ft 50%+Fg sem ozono, representada a laranja, que estagnou a partir dos 70 DAP. Existe, então, a possibilidade de o ozono por irrigação ter contribuído para que a planta, em déficit de nutrição, tivesse ainda um crescimento em fase final do ciclo.

As modalidades com fertirrigação a 100% apresentaram maiores alturas. A modalidade IO₃+Ft100%+Fg foi a que apresentou uma maior altura, tendo, também, ultrapassado as restantes em fase final.

Os dados obtidos permitem considerar a hipótese de O₃ por irrigação contribuir para uma maior longevidade da planta.

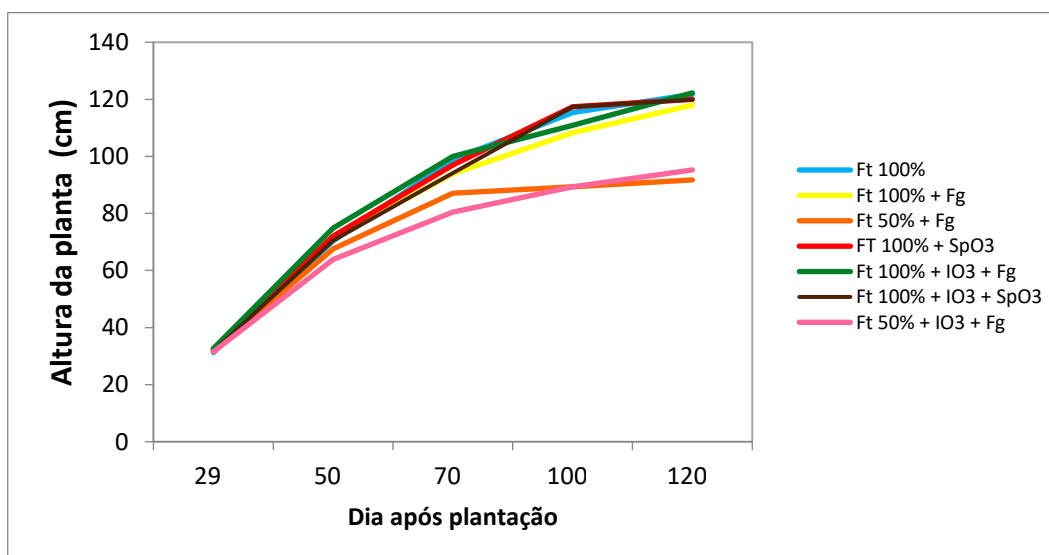


Figura 17. Médias de alturas das plantas (cm) por modalidade ao longo do ensaio, desde 29 aos 120 dias após plantação.

Para avaliação da evolução das folhas, ao longo do ensaio, foram analisadas a largura e comprimento das mesmas (Fig. 18; Fig.19).

Em todas as modalidades, verificou-se que a partir dos 100 DAP, houve uma estagnação do desenvolvimento das folhas, tanto ao nível da largura como do comprimento.

As modalidades com fertilização a 50% (Ft 50%), foram as que apresentaram menor dimensão das folhas, comprovando mais uma vez, um menor desenvolvimento vegetativo, devido a um défice nutricional.

Os resultados mostraram que a modalidade Ft 100% + SpO₃ (indicada a vermelho na Figura 18 e 19) foi a que teve uma maior expansão foliar, em largura e comprimento, existindo a possibilidade da aplicação foliar de O₃ contribuir para este resultado.

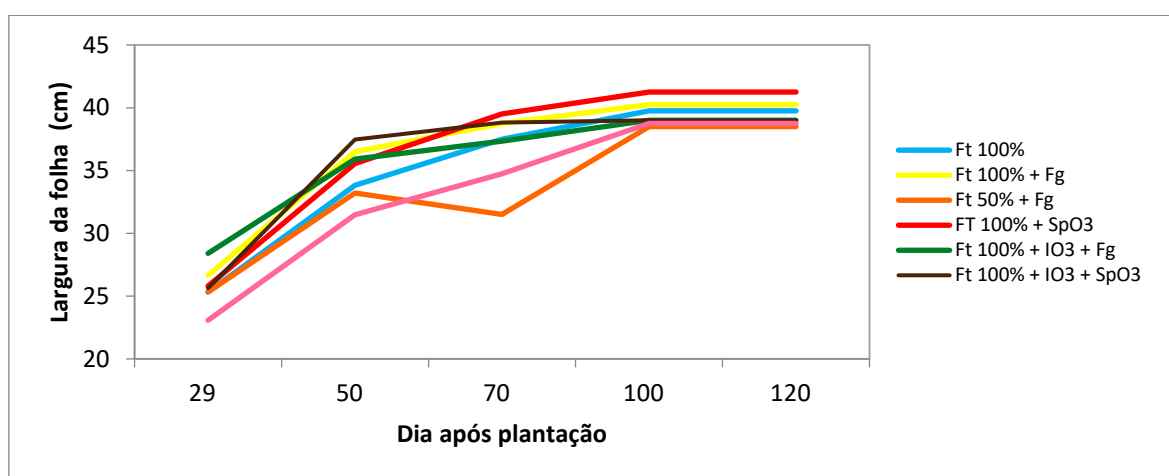


Figura 18. Médias de largura das folhas (cm) por modalidade ao longo do ensaio, desde o 29 aos 120 dias após plantação.

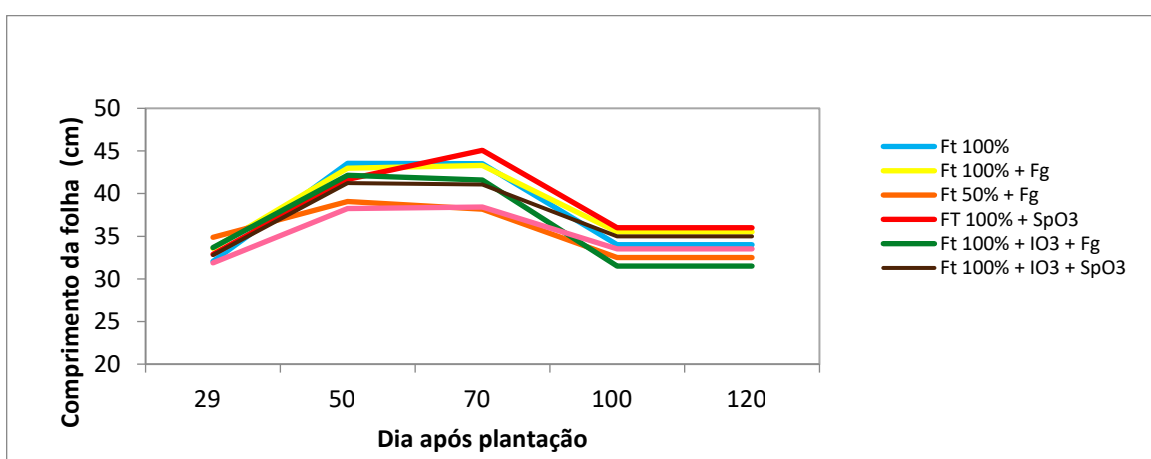


Figura 19. Médias dos comprimentos das folhas (cm) ao longo do ensaio, desde o 29 aos 120 dias após a plantação.

4.1.2. ÍNDICE DE CLOROFILA

A leituras SPAD realizadas ao longo do ensaio permitem ter uma percepção da evolução da clorofila nas plantas nas diferentes modalidades (Fig. 20).

Todas as modalidades apresentaram um decréscimo de clorofila ao longo do ciclo, observando-se que o decréscimo em clorofila foi menor em modalidade com folhas mais pequenas (maiores valores de SPAD corresponderam a modalidades com as folhas mais pequenas).

Nenhuma das modalidades com fertilizações iguais mostrou diferenças significativas entre si.

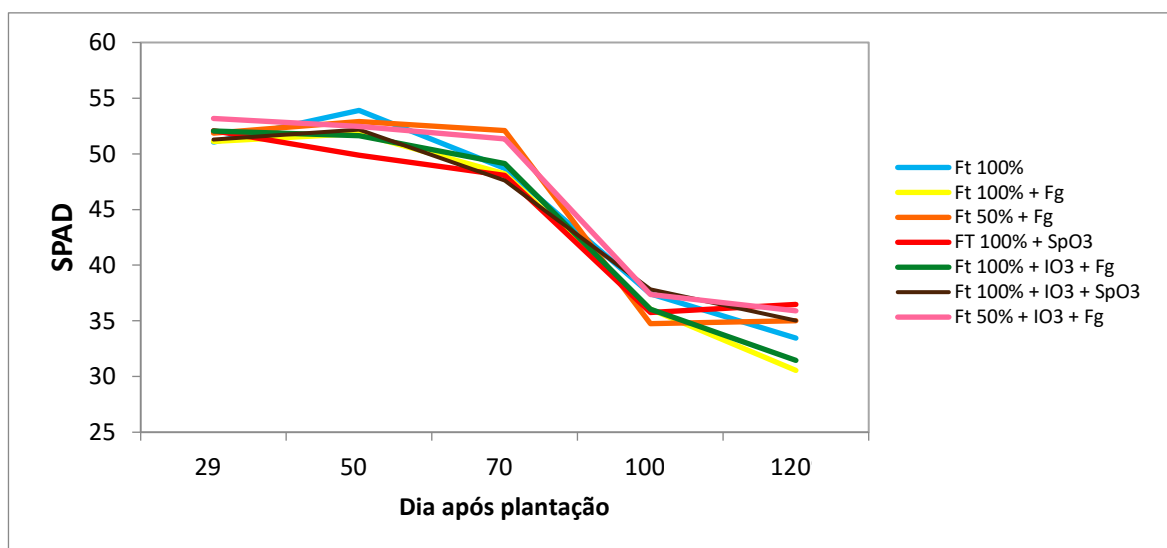


Figura 20. Médias de valores SPAD ao longo do ensaio, dos 29 aos 120 dias após plantação.

4.1.3. TAXA DE MATURAÇÃO

No final do ensaio foi realizada a colheita da totalidade dos frutos de cada modalidade (somatório das três plantas), estes foram divididos em frutos verdes, laranja e vermelhos, tendo sido contabilizado o número de frutos e o respetivo peso por grupo.

De um modo geral, as modalidades com aplicação de ozono por *spray* ou irrigação, apresentaram mais frutos maduros que laranja, comparativamente aos restantes, que apresentaram maior quantidade de frutos laranja que maduros com exceção de Ft 100% (Figura 21).

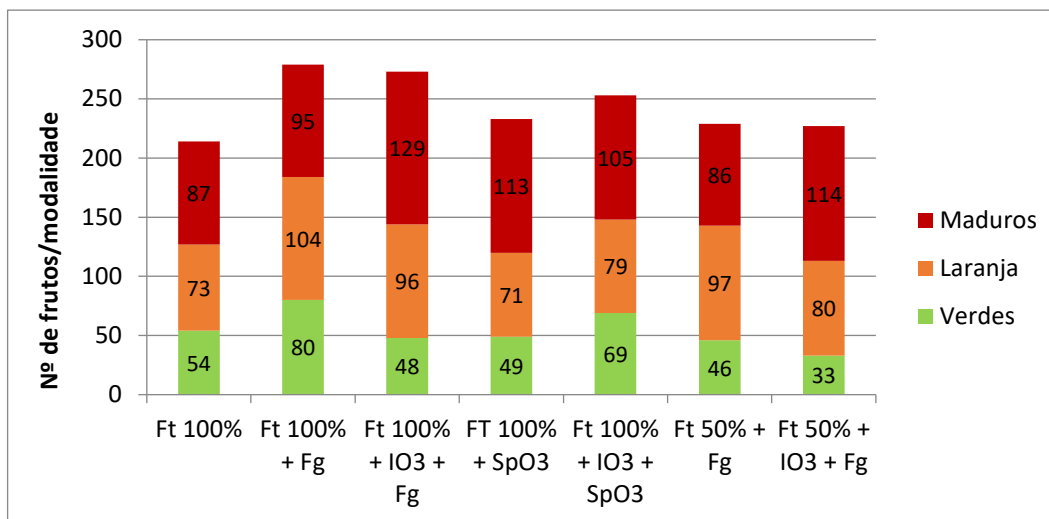


Figura 21. Médias de números de frutos, verdes, laranjas e maduros para cada modalidade.

A modalidade Ft 50% + IO3 + Fg, apesar de não ter sido a modalidade com maior produção de frutos totais (verdes, laranjas e maduros), foi a que apresentou maior percentagem de maturação, cerca de 50%, quando comparado com o controlo Ft 50% + Fg que teve uma percentagem de maturação de 38% (Quadro 4). Estes dados suscitam a possibilidade de O₃ influenciar uma maior homogeneização da maturação.

QUADRO 4. PRODUÇÃO TOTAL PARA CADA MODALIDADE E RESPECTIVA PERCENTAGEM DE FRUTOS MADUROS.

	Nº total de frutos	% frutos maduros
Ft 100%	241	41%
Ft 100% + Fg	279	34%
Ft 100% + IO3 + Fg	273	47%
Ft 100% + SpO3	233	48%
Ft 100% + IO3 + SpO3	253	42%
Ft 50% + Fg	229	38%
Ft 50% + IO3 + Fg	227	50%

Os frutos maduros, independentemente da modalidade, apresentaram maiores pesos médios (Fig. 22).

A modalidade com fertilização a 100% com aplicação de ozono por irrigação e pulverização (Ft 100% + IO3 + SpO3) apresenta maior peso médio por fruto, por outro lado, a

modalidade com fertilização a 100% sem qualquer aplicação de ozono ou fungicida apresenta pesos médios por fruto mais baixos.

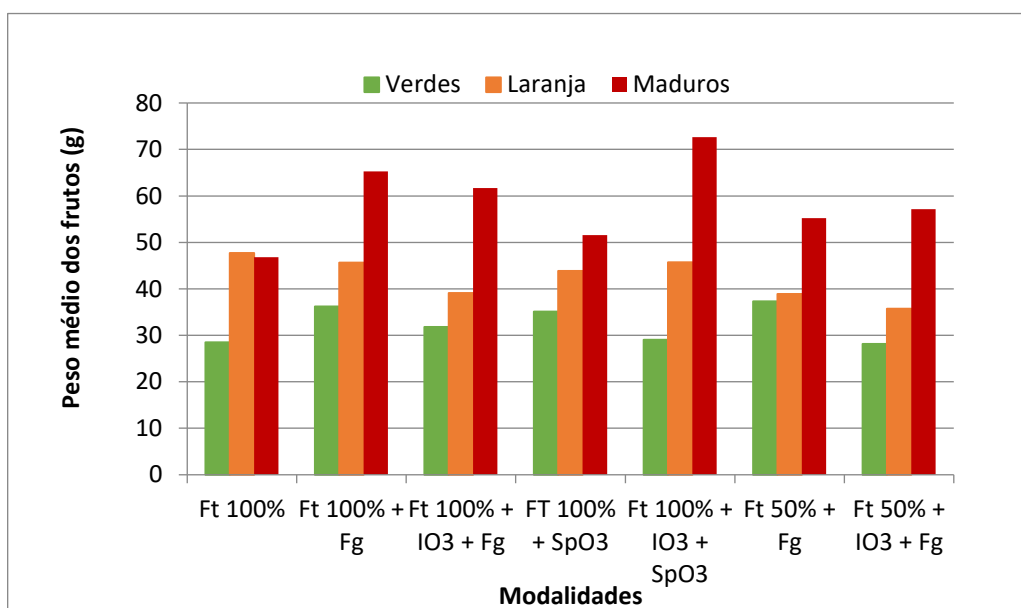


Figura 22. Pesos médios por frutos (g/fruto) para as diferentes modalidades. Valores médios para frutos verdes, laranja e maduros.

Quando comparados os valores das médias dos frutos maduros, verificou-se que o peso médio dos frutos maduros, por planta, nas modalidades Ft 100% + IO3 + Fg (1990g) e Ft 100% + IO3 + SpO3 (1907g) é significativamente superior ao peso médio das outras modalidades (Fig. 23).

A análise da Anova permite concluir que existem diferenças significativas entre modalidades no que diz respeito ao peso médio dos frutos maduros (Quadro A.1). Quando comparadas as médias entre pares de modalidades verificou-se que o peso médio dos frutos maduros por planta nas modalidades Ft100%+IO3+Fg (1990g) e Ft100%+IO3+SpO3 (1907g) é significativamente superior ao peso médio das outras modalidades (Fig. 23).

Considerando estes valores, O₃ por via de irrigação parece influenciar o peso médio por fruto; esta diferença pode dever-se a uma maior e mais saudável raiz que levou a uma maior assimilação de nutrientes e consequentemente mais reservas, traduzidas em maiores e mais frutos.

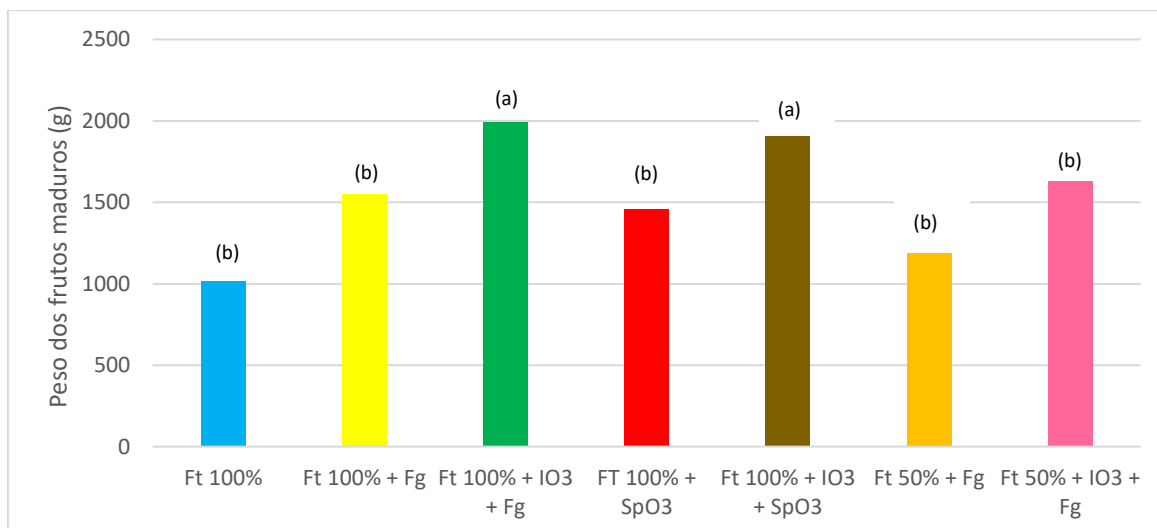


Figura 23. Médias de pesos de frutos maduros por planta em cada modalidade e resultados da comparação de médias. Pares de modalidades com a mesma letra não são significativamente diferentes (alfa=0,05; teste ANOVA)

4.1.4. INCIDÊNCIA DE DOENÇAS

A observação visual de doenças nas plantas foi realizada diariamente ao longo de todo o ensaio.

No entanto, dado o ensaio ter decorrido durante período pandémico (COVID-19) ocorreram algumas condicionantes que comprometeram o ensaio. A deteção de um caso positivo obrigou a isolamento profilático durante duas semanas. A ausência de manutenção, controlo na estufa e aplicação de ozono por pulverização durante este período, aliada ao facto de se ter usado uma variedade muito sensível a *Phytophthora infestans* e a *Botrytis cinerea*, KGM121, levou a que grande parte das plantas em estudo, de todas as modalidades, sofressem um ataque severo de míldio e podridão cinzenta. Assim que foi possível retomar os trabalhos na estufa, teve que ser realizada a poda de folhas, frutos e rebentos afetados com as doenças mencionadas, de forma a tentar continuar com o ensaio (Figura 24).



Figura 24. Casos de incidência de podridão cinzenta e míldio.

Por estas razões, não foi possível tirar-se qualquer conclusão ou dados fidedignos acerca deste parâmetro.

Contudo, até ao momento de entrada em isolamento profilático (82 DAP), não foi observada presença de sintomas de doenças nas plantas tratadas com ozono e fungicida, mas nas plantas não tratadas já existiam aparecimentos de doenças, indicando que o ozono, à data, poderia ter um efeito idêntico a pesticidas no controlo/prevenção de doenças em plantas de tomate (Fig. 25), que iria de encontro com o relatado por Tzortzakis *et al.* (2008) e He *et al.* (2015).



Figura 25. Plantas das modalidades com aplicação de ozono foliar por pulverização.

4.1.5. SISTEMA RADICULAR

As modalidades com aplicação de ozono por irrigação apresentaram peso radicular significativamente superior em relação aos controlos (Fig. 26), o que revela que a aplicação de ozono pode ter um efeito de expansão do sistema radicular das plantas.

Contudo, a modalidade Ft100%+SpO3, não apresentou diferença significativa com o controlo e é significativamente inferior às restantes modalidades com aplicação de ozono (Quadro A.2 e A.3). No caso desta modalidade, a aplicação de ozono foi feita apenas por pulverização a nível foliar, que tinha como principal objetivo atuar contra doenças que atacam o tomateiro. Assim, como era expectável, os resultados revelam, esta forma de aplicação de ozono não atua diretamente sobre o desenvolvimento radicular das plantas.

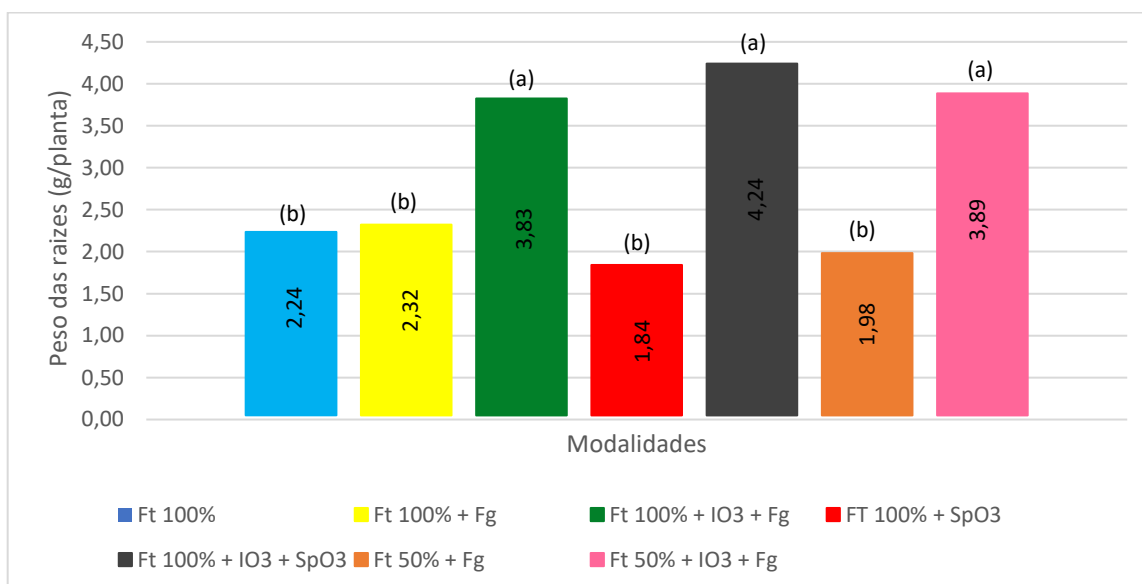


Figura 26. Médias dos pesos das raízes das diferentes modalidades no final do ensaio. Pares de modalidades com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$; teste ANOVA).

Adicionalmente, foi realizada uma observação do aspeto das raízes das plantas de cada modalidade (Fig. 27; Fig. 28). Observou-se que as modalidades sem aplicação de ozono por irrigação, apresentaram raízes mais castanhas e os filamentos mais finos do que as raízes das plantas que tiveram aplicação de ozono por irrigação.



Figura 27. Desenvolvimento radicular das modalidades sem aplicação de ozônio que por irrigação quer por pulverização.



Figura 28. Desenvolvimento das raízes das diferentes modalidades. a) Ft100%+IO3+Fg; b) Ft100%+IO3+SpO3; c) Ft100%+SpO3; d) Ft50%k+IO3+Fg.

As raízes das modalidades com aplicação de ozônio no sistema de rega apresentaram uma cor mais branca e um aspeto mais saudável, o que pode ser uma indicação do efeito da aplicação de ozônio por irrigação na desinfeção da água, descrito por Raub *et al.* (2001).

Desta forma pode considerar-se que a utilização de ozônio por irrigação pode melhorar o sistema radicular das plantas ao nível sanitário e da sua expansão.

4.2. QUALIDADE DOS FRUTOS

4.2.1. TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS

Quando analisado o teor de sólidos solúveis, expresso em °Brix, para cada modalidade não se verificaram quaisquer diferenças significativas entre as diferentes modalidades testadas (Quadro A.4 e A.5). Porém observou-se um ligeiro aumento, apesar de não significativo, de °Brix nas modalidades com fertilização a 100% e aplicação de ozono (Fig. 29).

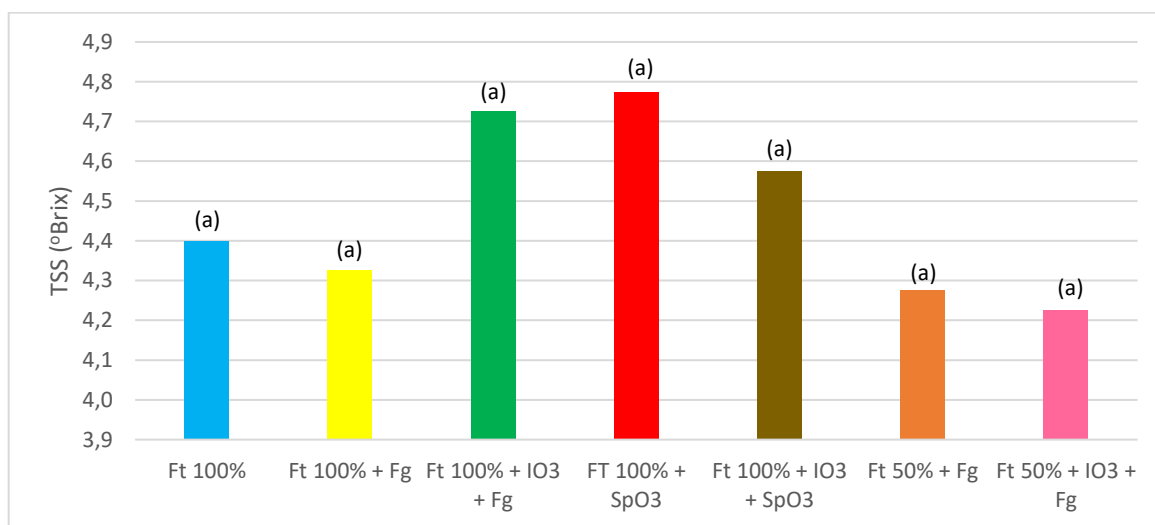


Figura 29. Médias dos Teores de Sólidos Solúveis (°Brix) de cada modalidade. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).

4.2.2. pH

Os resultados da análise de variância (ANOVA) levam a considerar que existem diferenças próximas do significativo, estatisticamente, entre as médias de pH das modalidades ($P=0,0647$) (Quadro A.6, A.7 e A.8).

Os valores mais elevados de pH foram observados nas modalidades com aplicação de ozono por irrigação. A modalidade Ft 100%+SpO₃ apresenta o valor médio de pH mais baixo, mas não estatisticamente diferente de Ft 100%+Fg e de Ft 50%+Fg (Fig. 30).

Estes dados suscitam a possibilidade de O₃ por via de irrigação aumentar valores de pH o que não é ideal em tomate de indústria.

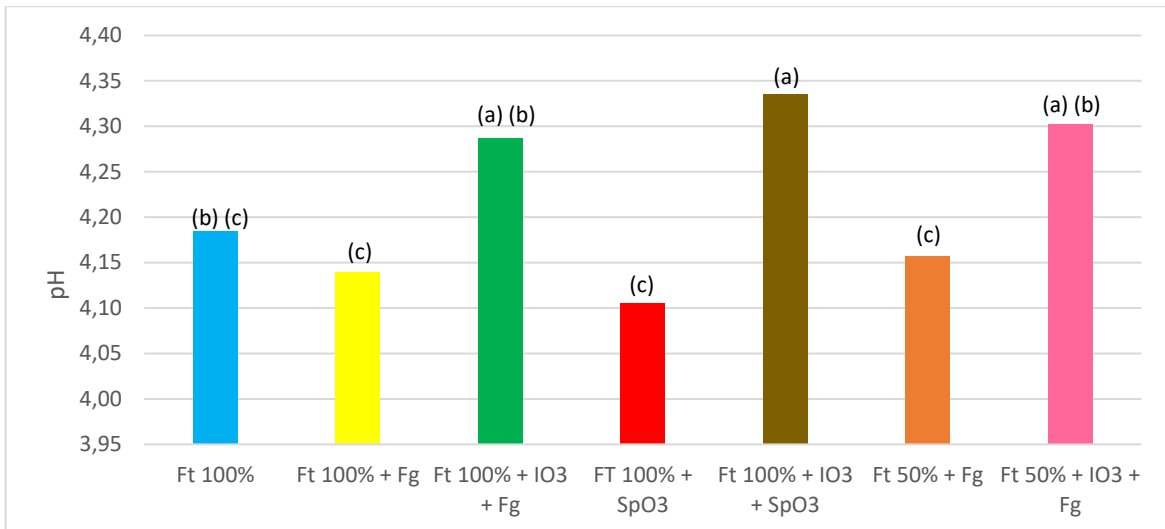


Figura 30. Médias de pH para cada modalidade. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).

4.2.3. COR

Para avaliação da cor foi considerada a relação a/b, que é usado como um parâmetro de referência na classificação de tomate de indústria.

Os resultados obtidos na ANOVA mostraram que não existiram diferenças significativas entre as modalidades testadas (Quadro A.9 e A.10).

Apesar disso, a Figura 31 mostrou que as modalidades com fertilização a 100% independentemente da aplicação de ozônio apresentaram valores mais altos na relação a/b, embora estatisticamente não significativos, que as modalidades com fertilização a 50%, quer com ou sem aplicação de ozônio (Fig. 31).

Tal pode indicar que a aplicação de ozônio poderá não ter efeito sobre a cor (a/b) dos frutos.

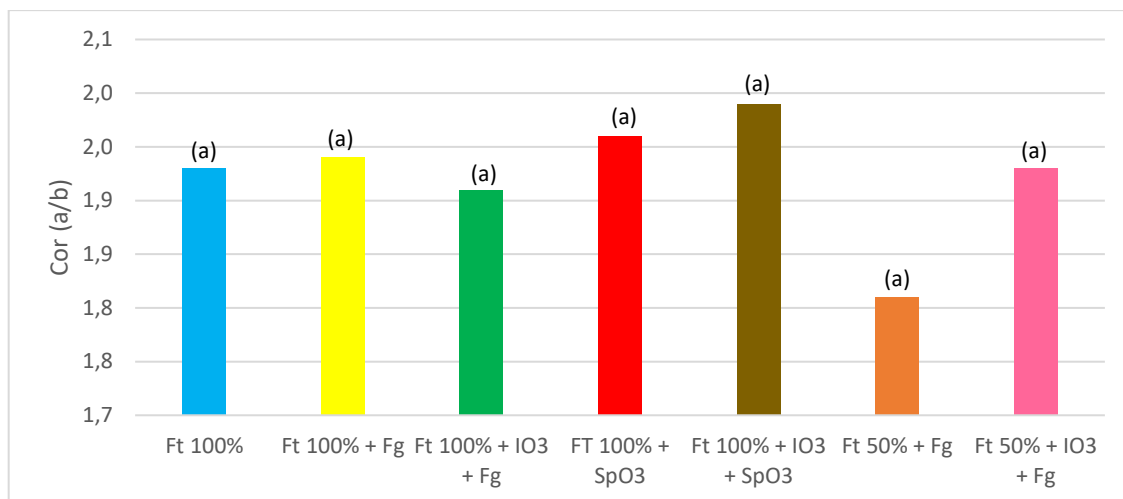


Figura 31. Médias de cor, relação a/b. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).

4.2.4. FIRMEZA DOS FRUTOS

Em relação à firmeza, os resultados mostraram, mais uma vez, que não existem diferenças significativas entre todas as modalidades (Quadro A.11 e A.12).

No entanto, com aplicação de ozono foliar por pulverização, os frutos apresentaram firmeza elevada, apesar de não significativamente superior às outras modalidades (Fig. 32). Este dado pode sugerir que a aplicação de ozono via foliar poderá ter efeito positivo sob a firmeza dos frutos, a validar em futuros ensaios.

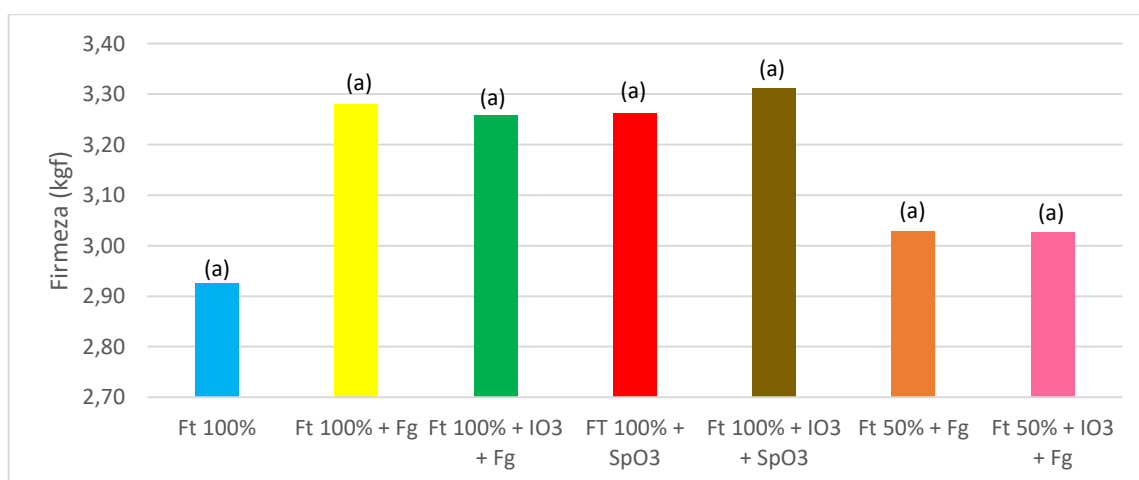


Figura 32. Médias de firmeza dos frutos de cada modalidade. Para cada coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ($\alpha=0,05$; teste ANOVA).

4.3. SISTEMA DE REGA

No final do ensaio verificou-se a quantidade de sólidos/ resíduos que presentes nas condutas do sistema de rega.

Depois da água filtrada, verificou-se que o sistema de rega que teve aplicação de ozono apresentou menor quantidade de resíduos sólidos. Por outro lado, a conduta do sistema de rega sem aplicação de ozono apresentou maior quantidade de resíduos sólidos na água recolhida (Fig. 33).

Estes resultados vão de encontro com vários artigos, como Lynch & Swift (2008) e Raub *et al.* (2001), que mostram que a aplicação de ozono no sistema de rega desinfeta e limpa o sistema de rega.

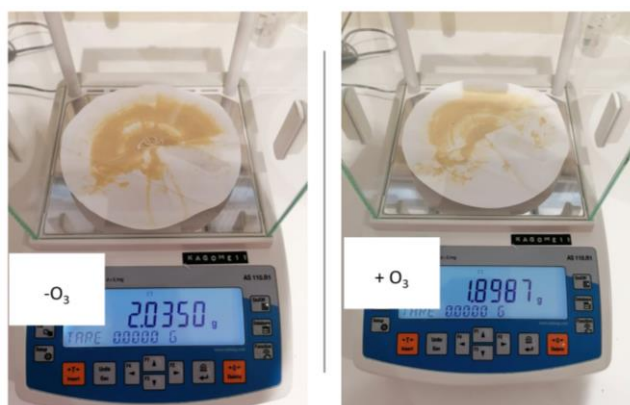


Figura 33. Deposição de resíduos sólidos em papel de filtro depois da filtragem da água dos sistemas de rega, à esquerda sem ozono na irrigação, à direita com ozono na irrigação; E respetiva pesagem.

A aplicação de ozono no sistema de rega foi bastante vantajosa para o funcionamento dos gotejadores. Durante todo o ensaio não houve gotejadores entupidos na tubagem com aplicação de ozono na rega, ao contrário, na tubagem onde não se aplicou ozono foi necessário limpar e até substituir alguns gotejadores por estarem entupidos.

Assim, estes acontecimentos e resultados comprovam que o uso de ozono como aditivo desinfetante no sistema de rega, pode ser uma grande ajuda nas culturas de tomate de indústria em campo aberto, visto que entupimentos das fitas de rega devido à baixa qualidade da água são usuais e contribuem para menores produtividades e menor homogeneidade nos campos.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu reunir informação sobre o uso de ozono e comprovar efeitos positivos e pontos fortes, em particular as oportunidades e circunstâncias mais adequadas.

No começo deste estudo, e após rever alguma literatura científica, seria de esperar que ozono por pulverização ajudaria numa eliminação de pragas na parte vegetativa das plantas, nomeadamente míldio e podridão cinzenta, e que também influenciasse a firmeza dos frutos e a sua qualidade. No caso da aplicação de ozono por irrigação, seria espectável que o sistema de rega ficasse mais limpo, as raízes mais saudáveis, a qualidade de frutos fosse superior, uma maturação mais homogénea e que permitisse, também, reduções em fertilização sem impactos em quantidade e qualidade da produção.

O ozono por irrigação, com o seu efeito desinfetante e oxidante, mostrou com este estudo que contribui para manter o sistema de rega mais limpo.

A salubridade das raízes e o peso das mesmas mostram também um resultado positivo da aplicação de ozono por irrigação. O impacto desta metodologia nestes fatores pode ser indireto por promover uma fonte de água mais pura, e/ou direto em que promove uma desinfeção das raízes por contacto com potenciais fungos nefastos na superfície radicular e expansão das mesmas por oxigenação, dada à sua rápida transformação em oxigénio.

O ozono por irrigação contribuiu para uma maturação mais homogénea, sendo que a metodologia de aplicação via foliar também teve impacto neste fator. Caso se comprove, com estudos futuros, que ambas as metodologias contribuem para este processo em campo aberto, pode ser benéfico para a cultura de tomate de indústria uma maturação mais homogénea em fase final, pois conseqüentemente alcançar-se-á um maior aproveitamento da cultura.

Adicionalmente, verificou-se que ozono por irrigação contribuiu para um peso médio por fruto superior, o que combinado com um maior número de frutos maduros obtidos nos ensaios com fertilização total e O₃ na irrigação comprova que pode contribuir para uma maior produtividade.

A diminuição de fertilização neste ensaio visou testar a possibilidade de ozono via rega contribuir para um uso menos intensivo de fertilização. Os resultados obtidos neste parâmetro revelaram que o facto de adicionar ozono por irrigação em modalidades com metade da fertilização, não igualou a produtividade e qualidade de frutos das modalidades de 100% de fertilização, e não apresentou diferenças significativas nestes fatores comparando à modalidade idêntica em fertilização.

A tentativa de reduzir a quantidade de fertilizantes, devido à área radicular estar restrita ao volume dos vasos existentes, não permitiu testar esta hipótese de forma fidedigna. Esta testagem teria de ser efetuada em campo aberto, onde a área para possível expansão radicular é superior, e a aplicação do ozono com o seu efeito na expansão radicular iria permitir um maior acesso a nutrientes existentes no solo, permitindo uma diminuição na aplicação de fertilizantes.

A aplicação de ozono por via foliar não promoveu diferenças significativas em nenhum dos parâmetros avaliados em relação a qualidade dos frutos, não se verificaram diferenças significativas como seria de esperar inicialmente.

Quanto ao aparecimento e controlo de doenças, apesar dos resultados terem sido comprometidos pela questão do isolamento profilático durante quinze dias, verificou-se que até aos 82 DAP, não eram visíveis diferenças entre as modalidades com aplicação de ozono via foliar por pulverização com as modalidades com aplicação de fungicida, sendo possível nas variedades sem qualquer tipo de tratamento observar sintomas de aparecimento de doenças (*Phytophthora infestans* ou *Botrytis cinerea*) até à data. Estas observações visuais, até ao isolamento profilático, numa variedade especialmente suscetível, revelam que o ozono por via foliar pode servir como alternativa menos tóxica num plano de prevenção de propagação de doenças em produção integrada.

Neste ensaio dever-se-ia ter testado as plantas em vasos com volumes superiores para que o efeito do ozono por irrigação pudesse ter apresentado resultados mais distintos em alguns parâmetros. Na modalidade de menor fertilização a diferença foi demasiado severa sendo que até se poderia ter incluído mais modalidades de diferentes níveis de fertilização. A nível dos tratamentos por pulverização poderia também ter-se acrescentado um adjuvante que garantisse uma maior adesão dos tratamentos às folhas.

A falta de investigação científica acerca do efeito da aplicação de ozono no biota do solo, não permitiu fazer uma revisão e conclusão quanto aos possíveis efeitos benéficos ou nefastos do ozono na biodiversidade dos solos. Contudo, a informação transmitida por técnicos da área da tecnologia do ozono, indicou que a aplicação do mesmo nos solos tem o efeito similar ao metame de sódio (esterilizador do solo), porém, esta alternativa (ozono) não apresenta riscos de toxicidade nem para o Homem, como aplicador, nem para a atmosfera. Neste aspeto, conclui-se que a aplicação de ozono pode eliminar alguns patógenos dos solos, mas deverá ser usada com moderação, devendo ser utilizado apenas quando necessário.

Este estudo, de forma a ser mais completo, deveria continuar e ser testado em tomate de indústria em campo aberto, podendo até expandir-se a outras culturas, não se limitando

apenas às modalidades anteriormente testadas, mas também a outras problemáticas, como é o caso de toxicologia, sustentabilidade e rentabilidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blümel, S., Matthews, G. A., Grinstein, A., & Elad, Y. (1999). *Pesticides in IPM: Selectivity, Side-effects, Application and Resistance Problems* (Issue January). https://doi.org/10.1007/0-306-47585-5_11
- Byerlee, D., de Janvry, A., & Sadoulet, E. (2009). Agriculture for Development: Toward a New Paradigm. *Annual Review of Resource Economics*, 1(1), 15–31. <https://doi.org/10.1146/annurev.resource.050708.144239>
- Calvo, A., Carreras, R., & Ramos, C. (2008). *Parámetros de calidad en el tomate para industria*.
- Castellanos-Morales, V., Villegas, J., Wendelin, S., Vierheilig, H., Eder, R., & Cárdenas-Navarro, R. (2010). Root colonisation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* alters the quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) at different nitrogen levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3998>
- Chonata, E. (2018). *Efecto de la aplicación postcosecha de ozono gaseoso sobre la tasa respiratoria y la calidad microbiológica de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth)*. FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS.
- Ciccarese, F., Sasanelli, N., National, I., & Ambrico, A. (2007). *Control of Pyrenochaeta Lycopersici on tomato by ozone disinfection*. 2007. https://www.researchgate.net/publication/268428611_Control_of_Pyrenochaeta_Lycopersici_on_tomato_by_ozone_disinfection
- Coelho, C. C. D. S., Freitas-silva, O., Campos, R. S., Bezerra, V. S., & Cabral, L. M. C. (2015). Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de frutas e hortaliças : Uma revisão Ozonation as post-harvest technology in conservation of fruits and vegetables : A review. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(4), 369–375.
- Cui, H., Su, J., Wei, J., Hu, Y., & Ge, F. (2014). Elevated O₃ enhances the attraction of whitefly-infested tomato plants to *Encarsia formosa*. *Scientific Reports*, 4, 1–6. <https://doi.org/10.1038/srep05350>
- Cui, H., Sun, Y., Chen, F., Zhang, Y., & Ge, F. (2016). Elevated O₃ and TYLCV infection reduce the suitability of tomato as a host for the whitefly *Bemisia tabaci*. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(12). <https://doi.org/10.3390/ijms17121964>
- Davis, K. F., Gephart, J. A., Emery, K. A., Leach, A. M., Galloway, J. N., & D'Odorico, P. (2016). Meeting future food demand with current agricultural resources. *Global Environmental Change*, 39, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.004>
- Dorais, M., Ehret, D. L., & Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: From the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 231–250. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x>
- Ebihara, K., Stryczewska, H. D., Mitsugi, F., Ikegami, T., Sakai, T., Pawlat, J., & Teii, S. (2012). Recent development of ozone treatment for agricultural soil sterilization and biomedical prevention. *Przegląd Elektrotechniczny*, 88(6), 92–94.
- Gabler, F. M., Smilanick, J. L., Mansour, M. F., & Karaca, H. (2010). Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on postharvest gray mold and fungicide residues on table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 55(2), 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.09.004>

- Gatta, G., Libutti, A., Gagliardi, A., Beneduce, L., Brusetti, L., Borruso, L., Disciglio, G., & Tarantino, E. (2015). Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. *Agricultural Water Management*, 149, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.016>
- Goode, W. J., & Hatt, P. K. (1975). Métodos em pesquisa social. São Paulo: Nacional.
- Graham, T., Zhang, P., Woyzbun, E., & Dixon, M. (2011). Response of hydroponic tomato to daily applications of aqueous ozone via drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.019>
- Greenwood, D. J., Zhang, K., Hilt, H. W., & Thompson, A. J. (2010). Opportunities for improving irrigation efficiency with quantitative models, soil water sensors and wireless technology. *Journal of Agricultural Science*, 148(1), 1–16. <https://doi.org/10.1017/S0021859609990487>
- Hatfield, J., Takle, G., Grotjahn, R., Holden, P., Izaurralde, R. C., Mader, T., Marshall, E., & Liverman, D. (2014). Ch. 6: Agriculture. *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment* (J. M. Melillo, T. (T. C. . Richmond, & G. W. Yohe (eds.)). <https://doi.org/10.7930/J02Z13FR>
- He, H., Zheng, L., Li, Y., & Song, W. (2015). Research on the Feasibility of Spraying Micro/Nano Bubble Ozonated Water for Airborne Disease Prevention. *Ozone: Science and Engineering*, 37(1), 78–84. <https://doi.org/10.1080/01919512.2014.913473>
- IFAP. (2020). *Ajudas ao setor do tomate - campanhas 1996/1997 a 2020*. <https://www.ifap.pt/estatisticas-setor-do-tomate>
- Kells, S. A., Mason, L. J., Maier, D. E., & Woloshuk, C. P. (2001). Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. *Journal of Stored Products Research*, 37(4), 371–382. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(00\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(00)00040-0)
- Khan, M. R., & Khan, M. W. (1998). Interactive effects of ozone and powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) on bottle gourd (*Lagenaria siceraria*). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 70(2–3), 109–118. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(98\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00102-9)
- Kimura, S., & Sinha, N. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*): A model fruit-bearing crop. *Cold Spring Harbor Protocols*, 3(11). <https://doi.org/10.1101/pdb.emo105>
- Koocheki, A., Ghorbani, R., Mondani, F., Alizade, Y., & Moradi, R. (2011). Pulses production systems in term of energy use efficiency and economical analysis in Iran. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 1(4), 95–106.
- Landa Fernández, I. A., Monje-Ramirez, I., & Orta Ledesma de Velásquez, M. T. (2019). Tomato Crop Improvement Using Ozone Disinfection of Irrigation Water. *Ozone: Science & Engineering*, 41(5), 398–403. <https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1549474>
- Lynch, E., & Swift Jr., E. J. (2008). EVIDENCE-BASED CARIES REVERSAL USING OZONE. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 20(4), 218–222. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2008.00183.x>
- Ma, Q., Yamaguchi, T., Nakata, N., Katsube-Tanaka, T., & Nakano, J. (2004). Factors Affecting the Bleeding Rate from the Basal Part Cut End of Stem in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Seedlings. *Japanese Journal of Crop Science*, 73(4), 431–435. <https://doi.org/10.1626/jcs.73.431>
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., &

- Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 3315–3335. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>
- Marique, T., Allard, O., & Spanoghe, M. (2012). Use of self-organizing map to analyze images of fungi colonies grown from *Triticum aestivum* seeds disinfected by ozone treatment. *International Journal of Microbiology*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/865175>
- Martínez, S. B., Pérez-Parra, J., & Suay, R. (2011). Use of Ozone in Wastewater Treatment to Produce Water Suitable for Irrigation. *Water Resources Management*, 25(9), 2109–2124. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9798-x>
- Msayleb, N., & Ibrahim, S. (2011). Treatment of nematodes with ozone gas: A sustainable alternative to nematicides. *Physics Procedia*, 21, 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.10.028>
- Nakano, J., Goto, K., Noguchi, M., Shimoda, T., Fujii, H., & Tanabe, S. (2002). Seasonal Field Survey on Thermal Comfort Conditions in Semi-Outdoor Spaces: Part 5: Thermal Sensation and Thermal Environment. *Architectural Institute of Japan*, 391–392. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004568820/>
- Palha, M. . (2005). A planta do morangueiro. In Maria Graça Palha (Ed.), *Manual do morangueiro* (pp. 3–119). INIAP/EAN.
- Peñuelas, J., & Filella, I. (1998). Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*, 3(4), 151–156. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(98\)01213-8](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01213-8)
- Pierpoint, A. C., Hapeman, C. J., & Torrents, A. (2003). Ozone treatment of soil contaminated with aniline and trifluralin. *Chemosphere*, 50(8), 1025–1034. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00635-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00635-5)
- Raub, L., Amrhein, C., & Matsumoto, M. (2001). The effects of ozonated irrigation water on soil physical and chemical properties. *Ozone: Science and Engineering*, 23(1), 65–76. <https://doi.org/10.1080/01919510108961989>
- Remondino, M., & Valdenassi, L. (2018). Different uses of ozone: Environmental and corporate sustainability. Literature review and case study. *Sustainability (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/su10124783>
- Richardson, A. D., Duigan, S. P., & Berlyn, G. P. (2002). An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*, 153(1), 185–194. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00289.x>
- Ruiz Celma, A., Cuadros, F., & López-Rodríguez, F. (2009). Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 87(4), 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2008.12.003>
- Saltveit, M. E. (2005). Postharvest biology and handling. In *Tomatoes* (pp. 305–324). CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851993966.0305>
- Selin, N. E., Wu, S., Nam, K. M., Reilly, J. M., Paltsev, S., Prinn, R. G., & Webster, M. D. (2009). Global health and economic impacts of future ozone pollution. *Environmental Research Letters*, 4(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/044014>
- Singh, N., Singh, R. K., Bhunia, A. K., & Stroshine, R. L. (2002). Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *LWT - Food Science and Technology*, 35(8), 720–729. <https://doi.org/10.1006/food.2002.0933>

- Souza, L. P. de, Faroni, L. R. D. A., Heleno, F. F., Cecon, P. R., Gonçalves, T. D. C., Silva, G. J. da, & Prates, L. H. F. (2018). Effects of ozone treatment on postharvest carrot quality. *LWT - Food Science and Technology*, 90(November 2017), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.057>
- Sugawara, E., & Nikaido, H. (2014). Properties of AdeABC and AdeIJK Efflux Systems of *Acinetobacter baumannii* Compared with Those of the AcrAB-TolC System of *Escherichia coli*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 58(12), 7250–7257. <https://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>
- Takayama, M., Ebihara, K., Stryczewska, H., Ikegami, T., Gyoutoku, Y., Kubo, K., & Tachibana, M. (2006). Ozone generation by dielectric barrier discharge for soil sterilization. *Thin Solid Films*, 506–507, 396–399. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.08.332>
- Trejo-Téllez, L., & Gómez-Merino, F. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. In T. Asao (Ed.), *Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Researches* (p. 256). BoD – Books on Demand.
- Tzortzakis, N., Singlet, I., & Barnes, J. (2008). Impact of low-level atmospheric ozone-enrichment on black spot and anthracnose rot of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 47(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.004>
- Wang, S., Wang, J., Wang, T., Li, C., & Wu, Z. (2019). Effects of ozone treatment on pesticide residues in food: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(2), 301–312. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13938>
- WTPC. (2020). <https://www.wptc.to/>. WPTC World Production Estimate of Tomatoes for Processing (in 1000 Metric Tnes).
- YANG, P., GUO, Y. zhi, & QIU, L. (2018). Effects of ozone-treated domestic sludge on hydroponic lettuce growth and nutrition. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(3), 593–602. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61868-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61868-9)
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289(July). <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270>

ANEXOS

QUADRO A.1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PESO DOS FRUTOS MADUROS.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre modalidades	2990092	6	498348,7	5,33	0,0018 (**)	2,57
Dentro de grupos	1963053	21	93478,7			
Total	4953145	27				

QUADRO A.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PESO DAS RAÍZES À COLHEITA.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre modalidades	25,46	6	4,24	27,653	0,0000 (***)	2,57
Dentro de grupos	3,22	21	0,15			
Total	28,69	27				

QUADRO A.3. PESO DAS RAÍZES À COLHEITA: COMPARAÇÃO ENTRE PARES DE MÉDIAS.

dj (diferença significativa Scheffé) = 1,088

Modalidade	Ft 100%	Ft 100% + Fg	Ft 100% + Fg + IO3	FT 100% + SpO3	Ft 100% + SpO3+ IO3	Ft 50% + Fg	Ft 50% + Fg + IO3+
Média	2,235 (b)	2,322 (b)	3,827 (a)	1,843 (b)	4,241 (a)	1,981 (b)	3,885 (a)
Desvio padrão	0,717	0,356	0,276	0,097	0,297	0,288	0,421

Nota: médias com (.) iguais não são significativamente diferentes.

QUADRO A.4. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O °BRIX.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre modalidades	1,172	6	0,195	1,432	0,249 (NS)	2,573
Dentro de grupos	2,865	21	0,136			
Total	4,037	27				

QUADRO A.5. °BRIX: MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR MODALIDADE.

Modalidade	Ft 100%	Ft 100% + Fg	Ft 100% + Fg + IO3	FT 100% + SpO3	Ft 100% + SpO3+ IO3	Ft 50% + Fg	Ft 50% + Fg + IO3+ IO3
Média	4,400	4,325	4,725	4,775	4,575	4,275	4,225
Desvio padrão	0,356	0,377	0,591	0,486	0,126	0,275	0,096

QUADRO A.6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PH DOS FRUTOS.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre modalidades	0,589	6	0,098	2,386	0,0647 (NS)	2,573
Dentro de grupos	0,864	21	0,041			
Total	1,453	27				

NS: Não significativo.

QUADRO A.7. PH: COMPARAÇÃO ENTRE PARES DE MÉDIAS, MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR MODALIDADE.

dj (diferença significativa Scheffé) = 0,131							
Modalidade	Ft 100%	Ft 100% + Fg	Ft 100% + Fg + IO3	FT 100% + SpO3	Ft 100% + SpO3+ IO3	Ft 50% + Fg	Ft 50% + Fg + IO3+ IO3
Média	4,185 (b) (c)	4,14 (c)	4,288 (a) (b)	4,105 (c)	4,335 (a)	4,157 (c)	4,300 (a) (b)
Desvio padrão	0,060	0,022	0,050	0,010	0,013	0,089	0,028

Nota: médias com (.) iguais não são significativamente diferentes.

QUADRO A.8. PH: COMPARAÇÃO ENTRE PARES DE MÉDIAS, MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR MODALIDADE.

dj (diferença significativa Scheffé) = 849,4							
Modalidade	Ft 100%	Ft 100% + Fg	Ft 100% + Fg + IO3	FT 100% + SpO3	Ft 100% + SpO3+ IO3	Ft 50% + Fg	Ft 50% + Fg + IO3+ IO3
Média	1018 (b)	1550 (b)	1990 (a)	1457 (b)	1907 (a)	1188 (b)	1628 (b)
Desvio padrão	80,2	528,5	157,9	464,8	153,5	141,4	289,9

Nota: médias com (.) iguais não são significativamente diferentes

QUADRO A.9. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A COR (A/B).

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre modalidades	0,0760	6	0,0127	0,914	0,505 (NS)	2,573
Dentro de grupos	0,2911	21	0,0139			
Total	0,3671	27				

QUADRO A.10. COR (A/B): MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR MODALIDADE.

Modalidade	Ft 100%	Ft 100% + Fg	Ft 100% + Fg + IO3	FT 100% + SpO3	Ft 100% + SpO3+ IO3	Ft 50% + Fg	Ft 50% + Fg + IO3+ IO3
Média	1,931	1,937	1,912	1,962	1,986	1,809	1,932
Desvio padrão	0,026	0,186	0,048	0,139	0,052	0,157	0,114

QUADRO A.11. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A FIRMEZA DOS FRUTOS.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre modalidades	0,589	6	0,098	2,386	0,0647 (NS)	2,573
Dentro de grupos	0,864	21	0,041			
Total	1,453	27				

QUADRO A.12. FIRMEZA: MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR MODALIDADE.

Modalidade	Ft 100%	Ft 100% + Fg	Ft 100% + Fg + IO3	FT 100% + SpO3	Ft 100% + SpO3+ IO3	Ft 50% + Fg	Ft 50% + Fg + IO3+ IO3
Média	2,926	3,279	3,259	3,263	3,311	3,028	3,028
Desvio padrão	0,185	0,153	0,275	0,108	0,076	0,164	0,332